

المكتبة التكنولوجية

٢

إشراف المهندس سعيد عبد الغفار

# صناعة الصلب في المحولات

مهندس / صبحي محمد علي

تقديم  
مهندس / عدلي كريم



الجمعية المصرية للهندسة



# المكتبة التكنولوجية

٢



الهيئة العامة للمكتبات الإسلامية

• ٢٨٩

صناعة الصلب في المحولات

## المكتبة التكنولوجية

سلسلة تصدر عن الهيئة المصرية العامة للكتاب  
بإشراف : مهندس / سعيد عبد الغفار

المكتبة التكنولوجية

٢

## صناعة الصلب في المحولات

مهندس صبحي محمد عالى

تقديم

مهندس عدلى كريم



الهيئة المصرية العامة للكتاب

١٩٨٧

اخراج : زهور السلام

---

الاشراف الفني : محمد قطب

## تقديم

لعل لا أكون مبالغاً إذا اعترفت أنى غمرنى شعور بالرضا حين تصفحت هذا الكتاب العلمى المتخصص . . ذلك أن الكتاب قد ملأ فراغاً كان يعيب مكتبتنا الهندسية العربية وهو مجال انتاج الصلب بأساليبه المتنوعة . ومما لا شك فيه أن حاجة العاملين فى صناعة الحديد والصلب - وقد تنوعت شركاتها وأساليب انتاجها - أصبحت ماسة للغاية الى كتاب يغطى هذا المجال ويزود هؤلاء العاملين بما يلزم من معلومات أساسية .

ولقد أدركت قيمة الكتاب انطلاقاً من الجهد المخلص الذى بذله المؤلف كى يبسط المعلومات والحسابات دونما اخلال بأمانة الجهد العلمى وشمولية المجال الهندسى .

ونأمل أن تضطرد الجهود حتى تستكمل المكتبة الهندسية العربية جميع جوانبها .

مهندس عدلى عبد الشافى كريم





## الفصل الأول

### المبادئ الأساسية لصناعة الصلب فى المحولات

فى الواقع يعتبر الحديد الزهر سبيكة من الحديد والكربون فهو يحتوى على ٣٥ - ٤٥٪ من الكربون ، ٢٥ - ٤٥٪ من الشوائب التى أهمها السليكون والمنجنيز والفوسفور والكبريت .

ويحتوى الحديد الزهر اللازم لصناعة أنواع الصلب الخاصة على عناصر الكروم والنيكل والفانديوم . وهذه العناصر هى التى تكسب الصلب الخواص التى صنع من أجلها .

وفى كثير من نسبة الشوائب فى الصلب العادى عنها فى الحديد الزهر اذ تكون فى مجموعها نسبة تتراوح بين ٥٠ - ١٥٪ بينما تتراوح بين ٢٥ - ٤٥٪ فى الحديد الزهر . وهذا النباين الكبير فى نسب الشوائب فى الحديد الزهر والصلب هو المسئول عن الفروق الجوهرية فى الخواص .

ويتميز الصلب بمقدرته على تقبل الطرق والثنى والشد وتتيح هذه الخواص امكانية تشكيل الصلب بطرق التشكيل المختلفة كالطرق على الساخن والسحب والثنى على البارد . ويمكننا انناج تشكيلة كبيرة من الصلب تخلف فيما بينها اختلافا بينا فى الخواص الميكانيكية والخواص الأخرى وذلك بالتحكم فى التركيب الكيميائى وكذلك بواسطة المعالجة الحرارية .

ويتسم الحديد الزهر بالصلادة والهشاشة وعدم قابليته للمطيلية . ولا يكتسب الحديد والزهر خاصية المطولة عند السخين ( باستثناء الحديد الزهر المطاوع فانه يكتسب هذه الخاصية بعد اجراء عمليات معقدة من المعالجة الحرارية ) وتقوم صناعة الصلب أساسا على التخلص من الغالبية العظمى من الشوائب الموجودة بالحديد الزهر فباتحاد الشوائب ( الكربون - المنجنيز - السليكون - الفوسفور - الكروم - الفانديوم ) بالأكسجين الموجود فى هواء النفع يمكننا التخلص منها على

هينسه أكاسيد . اما الكبريت فيتمكن من ازالته على صورة كبريتيد الكالسيوم وكبريتيد المنجنيز . وينتج حاليا بواسطة أفران سيمنز مارتن والأفران الكهربائية أيضا يصنع بواسطة المحولات والأفران الدوارة .

وقد يتم صنع الصلب على مرحلتين : فى المرحلة الأولى تقوم المحولات بانتاج الحديد الزهر ثم تتكفل أفران سيمنز مارتن أو الأفران الكهربائية بتحويل الحديد الزهر الى صلب فى المرحلة الثانية .

ونعرف الطريقة التى يتم فيها صناعة الصلب على مرحلتين بالطريقة المزدوجة وفى الأفران الكهربائية وأفران سيمنز مارتن يقوم الخام المضاف الى الشحنة بتحويل الأكسجين اللازم لأكسدة الشوائب الى منطقة التفاعل والحدود المشتركة بين الحب والفلز . كذلك يشترك الهواء المحيط بالشحنة فى مدها بالأكسجين .

وينتقل الأكسجين خلال الشحنة بواسطة الانتشار ويتوقف معدل الانتشار على درجة حرارة الشحنة وكذلك على درجة لزوجة كل من الحب والفلز المنصهر ولذا فان انتشار الأكسجين يكون بطيئا نسبيا .

وفى صناعة الصلب بطريقة المحولات يتم الحصول على كمية الأكسجين المطلوبة بواسطة هواء النفخ الذى يعمل على تقليب الشحنة مما ينجح للأكسجين فرصة الانحداد مع الشوائب بسهولة . . لذا كان الانتشار هنا أقل أهمية .

## ١ - القواعد العامة لصناعة الصلب فى المحولات

تقوم صناعة الصلب فى المحولات أساسا على نفخ الحديد الزهر بالهواء الجوى أو بالهواء الجوى المشبع بالأكسجين أو بخليط من الأكسجين النقى وبخار الماء أو الأكسجين النقى مع ناس أكسيد الكربون .

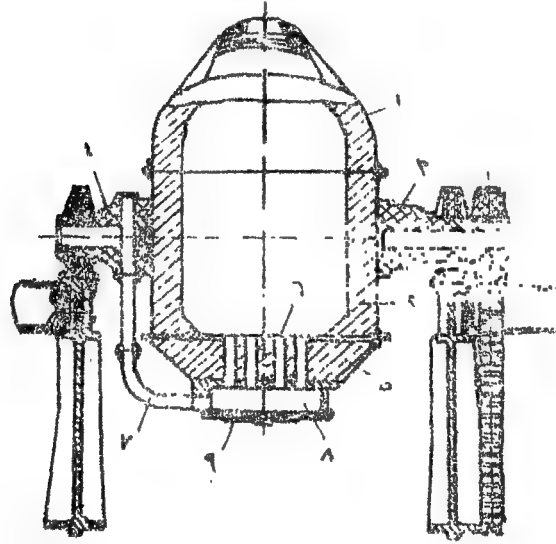
وينم النفخ بواسطة ودنات ينفذ منها الهواء الى قاعدة المحول التى تحوى على عدد كبير من الثقوب لدخول الهواء .

وفى التطورات الحديثة لصناعة الصلب فى المحولات يوضع شحنة الحديد الزهر فى محول ذو قاعدة صماء ( لبس بها ثقوب ) ثم يسلط على الشحنة تيار من الأكسجين الخالص خلال الفتحة العليا للمحول فيتأكسد عنصر الحديد فى أول الأمر ويتحول الى أكسيد الحديدوز الذى يقوم بعد

ذلك بأكسدة الشوائب بواسطة ما يحتويه من أكسجين ولا يخلو الأمر من أن بعض الشوائب قد تتأكسد مباشرة بأكسجين النفخ .

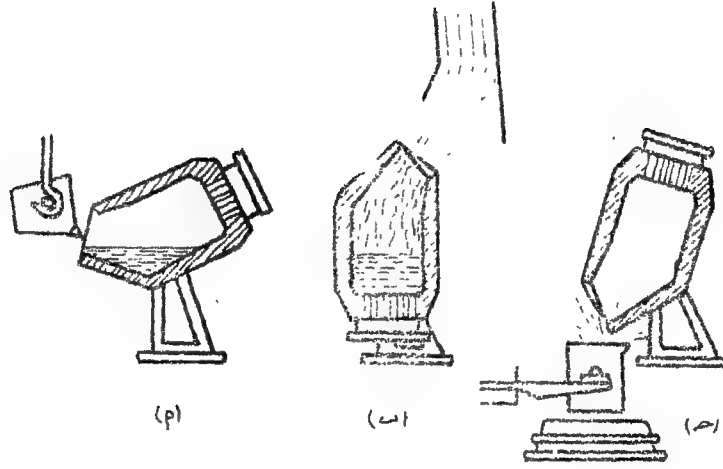
ونتيجة لاتحاد أكسجين النفخ بعنصر الحديد والشوائب الموجودة بالحديد الزهر تنبعث كمية لا بأس بها من الحرارة وبإضافة كمية الحرارة الطبيعية التي يحتويها الحديد الزهر نكون لدينا الحرارة اللازمة ليس فقط لتسخين المعدن المصهور ولكن أيضا لصهر كمية مناسبة من الحردة أو لاختزال كمية محسوبة من خام الحديد .

وبين نسكل (١) تصميم لاجد المحولات قاعدية النفخ . وبتركيب المحول من وعاء معدني كمسرى الشكل مبطن من الداخل بطوب حراري يحدد نوعه نبعاً للطريقة المستخدمة في صناعة الصلب ويستطيع المحول الدوران حول محور أفقي .



نسكل (١) : أشكال الطوب التي تستخدم لبناء الأجزاء المختلفة من المحول .

- |                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| ١ - هيكل المحول           | ٢ - حرارات البطانة |
| ٣ ، ٤ - مرتكز الدوران     | ٥ - قاعدة المحول   |
| ٦ - قصبات الهواء وفتحاتها | ٧ - أنبوبة الهواء  |
| ٨ - صندوق الهواء          | ٩ - غطاء الصندوق   |



(٦) : المحول في اوضاعه المختلفة :

- أ - عند شخذه بالحديد الزهر
- ب - أثناء النفخ
- ج - عند صب الصلب منه

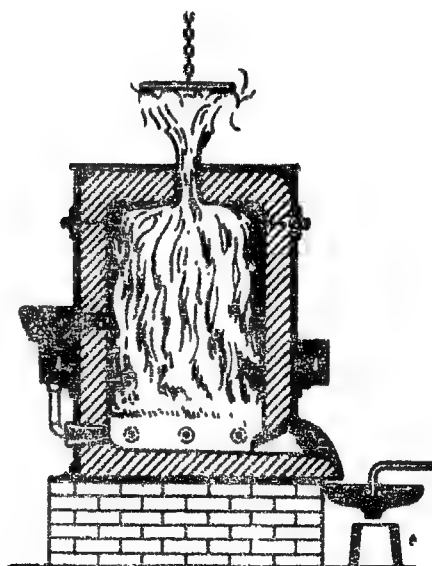
## ٢ - نبذة تاريخية

اكتشفت صناعة الصلب بواسطة المحولات سنة ١٨٥٩ م ومكتشفها هو هنرى بسمر الذى قام بأبحاثه بعد تمكنه من قبل حكومته من انتاج الصلب من الحديد الزهر بنفخه بالهواء دون الاستعانة بأى وقود .

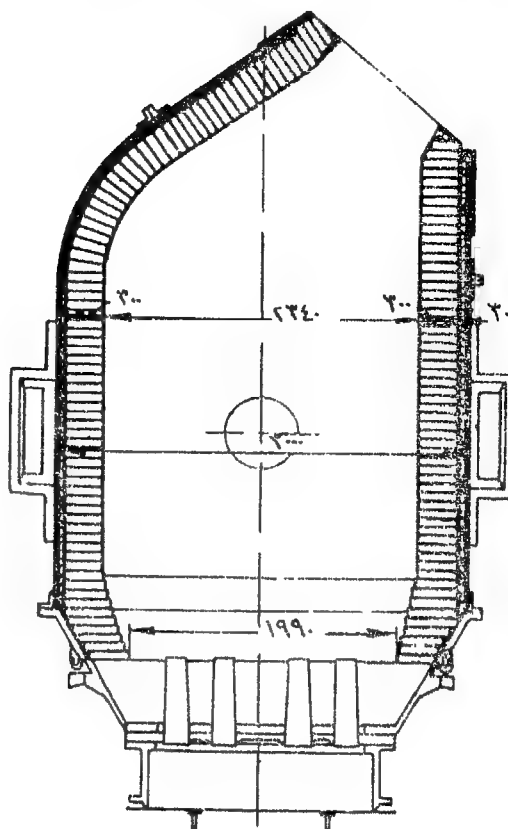
ويعتبر محول بسمر المبين بشكل (٣) بداية المحاولات لصنع أول محول فى تاريخ صناعة الصلب وهو يتركب من وعاء معدنى ثابت ذى فتحة جانبية عند منتصف ارتفاعه أصب الحديد المنصهر داخل المحول ويوجد بالقرب من قاعة ودنات يمر منها الهواء الى الداخل ويحتوى الجزء الاسفل للمحول على فتحة لاجراج الصلب الناتج وتهرب الغازات المتكونة أثناء التفاعلات الكيميائية من فتحة موجودة عند قمة المحول حيث يصطدم بلوح من الصلب يستخدم كعاكس للغازات كما هو مبين بالشكل .

ويبطن المحول بطوب ديناس الحامضى ، وهذا النوع من الطوب يكون مناسباً اذا أحوى الحديد الزهر على أقل كمية من الفوسفور والكبريت وعندئذ يمكننا انتاج صلب ذى جودة عالية .

شكل (٣) أول محول في تاريخ  
صناعة الصلب  
( بلاحتف نيوتن في مكانه )



شكل (٤) محول  
بسمه سعة ٢٠ طنا



ويلاحظ على الفور قصور مثل هذا المحول عن أداء مهمته على الوجه الأكمل نظرا لنبوته في موضعه ولهذا يحتم علينا بدء نفخ الهواء في المحول قبل صب الحديد الزهر ٠٠ كما يجب انتهاء عملية النفخ بعد أن يتم صب الصلب مما يعرض كثيرا من الحديد للضياع نتيجة لتأكسده وخصوصا إذا تعطلت فتحة صب الصلب لسبب أو لآخر .

وبعد سلسلة من المحاولات باءت كلها بالفشل ، تمكن بسمر في سنة ١٨٦٠ من بناء أول محول متحرك وهو لا يختلف كثيرا عن المحولات التي نراها اليوم .

### ٣ - مبادئ الكيمياء الطبيعية في صناعة الصلب

يحدث كثير من العمليات الطبيعية المعقدة والتفاعلات الكيميائية أثناء نفخ الحديد الزهر في المحولات فيقوم الأكسجين الموجود بهواء النفخ وخام الحديد بأكسدة المواد غير المرغوب فيها « كربون ، منجنيز ، سليكون ، فوسفور » أما الكبريت فنتمكن من إزالته إذا كانت الطريقة المستعملة قاعدية ، وبمجرد تكوين هذه الأكاسيد فإنها تتحد مع الإضافات النقية بالشمعة وأهمها الجبر الحى ( أكسيد الكالسيوم ) لنكون خبثا ، وتشترك بطانة المحول بجزء لا بأس به فى تكوين الخبث ومع هذا فإن جزءا من هذه الأكاسيد يذوب فى الصلب الناتج .

وبالنسبة للكربون فإنه بمجرد أن يتأكسد فإنه يبتعد عن منطقة التفاعلات على صورة أول أكسيد الكربون ٠٠

وبالرغم من هذا فإنه فى نهاية عملية النفخ يمكن بعض هذه العناصر غير المرغوب فيها ( النفايات ) التى تم تأكسدها من التنصل من الأكسجين بواسطة الإخزال وبذلك تعود سيرتها الأولى ، وتأخذ صورتها العنصرية ثم تشترك فى تركيب الصلب الناتج من جديد فمثلا يختزل ثانى أكسيد السليكون الذى يذوب فى الصلب الناتج كذلك نختزل أكاسيد المنجنيز والفوسفور فى محولات نوماس .

ونعتبر دراسة الظروف التى يتم فيها أكسدة الشوائب وإخزالها وكذلك تكوين الخبث أمرا مهما الى حد بعيد لكى نتمكن من التحكم فى صناعة الصلب والسيطرة على التفاعلات التى تحدث داخل المحول .

### ( أ ) المجموعة - الصنف - المحلول وتركيزها :

يطلق على عدد من المواد التى تتفاعل مع بعضها لفظ ( مجموعة ) فمثلا يطلق لفظ « مجموعة » على : الفلز المتكون ، الحبث ، البطانة .

ومن الواضح أنه أثناء صناعة الصلب تحدث كثير من التفاعلات الكيميائية داخل هذه المجموعة . وتكون المجموعة متجانسة ، إذا كانت جميع المواد المكونة لها متشابهة طبيعيا ولا تختلف فى خواصها فإذا اختلفت هذه المواد عن البعض فى خواصها الطبيعية أطلق عليها « مجموعة غير متجانسة » وبطلق لفظ ( صف ) على أى جزء من مجموعة غير متجانسة بخلاف خواصها الطبيعية عن باقى المجموعة .

وتحتوى على مجموعة المواد المتفاعلة داخل المحول على أربعة أصناف على الأقل وهى : الفلز المصهر - الحب - بطانة المحول - والغازات وكل صنف من هذه الأصناف يكون متجانسا باعتباره منفصلا بينما تكون هذه الأصناف مجتمعة مجموعة غير متجانسة .

وأثناء عملية النفخ نحدث كبر من التفاعلات الكيميائية فى كل صنف على حدة وكذلك بين الأصناف المختلفة ويطلق لفظ ( محلول ) على كل صنف متجانس يحتوى على مواد ممتزجة ببعضها امتزاجا تاما .

ولما كان الصلب مديا لكثير من الأصناف المختلفة كالشوائب وبعض الأكاسيد وعدد من الغازات فهو يعتبر محلولاً معقداً .

أيضا يعتبر الحب محلولاً مكوناً من الأكاسيد المختلفة ومركباتها ونظرا للامزاج التام بين الغازات يعتبر خليط من الغازات أبسط أنواع المحاليل .

ولخليط من الغازات ضغط كل واحد مساويا لمجموع الضغوط الجزئية لكل منها منفردا .

والضغط الجزئى لخليط من الغازات هو ضغط كل منها على حده حين يسمح له بشغل كل الحيز الذى يشغله الخليط عند نفس درجة الحرارة .

ويتناسب تركيز كل غاز فى الخليط مع ضغطه الجزئى طرديا . .  
ولقد اتفق على التعبير عن مقدار من المادة مذابا فى محلول ما بدرجة تركيز هذه المادة فى هذا المحلول فمثلا إذا احتوى نوع من الفولاذ على ٥٠ % من المنجنيز مذابا فيه قيل ان درجة تركيز المنجنيز فى هذا الفولاذ ٥٠ % .

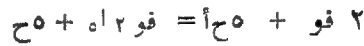
وقد اصطلح على التعبير عن تركيب الغازات فى محلول منها بالنسبة المئوية حجما أما فى حالة السوائل فيكون التعبير بالنسبة المئوية وزنا .

## ( ب ) قانون فعل الكتلة - معدل التفاعلات الكيميائية :

### التأثير الحررى :

نعرف المواد التى تشترك فى تفاعل ما بالمواد الداخلة فى التفاعل ونكتب عادة فى الطرف الأيسر من معادلة كيميائية تحدد هذا التفاعل ( هذا اذا كتبت المعادلة باللغة الانحازية ) كما تعرف المواد التى تتكون نتيجة لهذا التفاعل « بناتج التفاعل » وتكتب بالطرف الأيمن للمعادلة الكيميائية .

وينص قانون فعل الكتلة على أن معدل سرعة تفاعل ما مقيسا بمقدار المواد المتفاعلة فى وحدة الزمن يكون متناسبا مع درجة تركيز المواد الداخلة فى التفاعل ومساويا لحاصل ضربها مرفوعة للقوة العددية المناظرة للمعاملات الحسابية لكل منها وعلى سبيل المثال بعبر التفاعل الآتى :



تكون الاعداد ٢ قبل فو ، ٥ قبل ح ، هى المعاملات الحسابية لكل منها واذا لم يكن هناك عدد حسابى مكتوب مثل فو ٢ او ح ٥ فانه من الضروري التعبير عن معدل التفاعلات كالاتى :

$$\text{ع} = \text{ث} \times (\% \text{فو}) \times (\% \text{ح})$$

حيث

ع = سرعة التفاعل

ث = ثابت ( معدل سريان التفاعل )

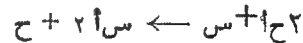
ويتوقف هذا الثابت على عدد من العوامل منها درجة الحرارة وطبيعة المواد الداخلة فى التفاعل . وعادة ما تكون قيمة ث كبيرة جدا فى غالبية التفاعلات الحادثة فى صناعة الصلب أى أن التفاعلات تسير بمعدل سريع جدا . ويلزم امداد عناصر التفاعل باستمرار الى منطقة التفاعل مع سحب نواتج التفاعل بصفة دائمة حتى يسير التفاعل فى الاتجاه الصحيح بسرعة مقبولة على المستوى الصناعى ويعتمد ذلك فى النهاية على عمليات انتشار للمواد المتفاعلة خلال منطقة التفاعل وهى عمليات يقل معدلها عادة عن معدلات التفاعلات الكيميائية لذلك يعتبر معدل الانتشار هو المحك فى معدل تقدم التفاعلات ولبس المحك هو السرعة النظرية لهذه التفاعلات .

ويزيد من سرعة معدل الانتشار نحسن ظروف التقليب فى حمام المعدن المنصهر بفعل تآكيد الشوائب وهواء النفخ ( أو الأكسجين ) .



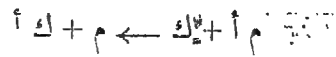
وتخزن كل مادة كمية من الطاقة الداخلية تقاس بالسرعات الحرارية وعندما يتفاعل المادة مع غيرها تفاعلا كيميائيا فقد ينخفض مقدار الطاقة الداخلية لانتقال جزء منها الى البيئة المحيطة أو يزيد باستقبال طاقة من الخارج فاذا احتوت المواد المتفاعلة على طاقة أكبر من طاقة نواتج التفاعل تصاعد الفرق على شكل حرارة ويمكن لهذا التفاعل أن يستمر اذا تم سحب الحرارة المتصاعدة من منطقة التفاعل . وعلى العكس اذا كان محتوى الطاقة لنواتج الفاعل أكبر من المواد المتفاعلة استلزم الأمر امداد كمية خارجية من الحرارة الى منطقة التفاعل كشرط لاستمرار هذا التفاعل ويطلق على الفاعل الذي تتصاعد الحرارة من جراء حدوثه اصطلاح « تفاعل طارد للحرارة » وعلى النوع الآخر اصطلاح « تفاعل ممتص للحرارة » .

فمثلا : يعتبر التفاعل :



تفاعلا طاردا للحرارة ، حيث يعتق ٧٨٩٩٠ سعرا من الحرارة من كل ذرة سليكون تتفاعل مع جزيئين من أكسيد احديدوز .

فى حين أن التفاعل :



يعتبر تفاعلا ممتصا للحرارة حيث يحتاج الوزن الجزيئى من مواد هذا التفاعل الى ٦٦٧٥٠ سعرا حراريا كى يتم .

### ج - ايزان التفاعلات

نفترض أن مادتين أ ، ب تتفاعلان مع بعضهما البعض فينتج من هذا التفاعل مادتان ج ، د ومع تقدم التفاعل ينخفض تركيز



المادتين أ ، ب بينما يزداد تركيز المادتين ج ، د بفرض استمرار تغذية أ ، ب واستمرار بصريف ج ، د الى ومن منطقة التفاعل . وتقل سرعة التفاعل فى اتجاه اليسار مع انخفاض تركيز المادتين أ ، ب ثم ينعكس انجاء الفاعل بعد زيادة تركيز المادتين ج ، د ويسمى مثل هذا التفاعل تفاعلا قابلا للانعكاس .

ويستمر الحال حتى يتساوى معدلا التفاعل فى كلا الاتجاهين وبذلك يبلغ التفاعل مرحلة الاتزان ويتوقف سريره .

ويكون معدل التفاعل في اتجاه اليمين ع ١ = ث ١ × أ ب

ويكون معدل التفاعل في اتجاه اليسار ع ٢ = ث ٢ × ج د

وفي حالة الاتزان يصبح : ع ١ = ع ٢ أى أ ب = ج د

$$\frac{\text{ث } ٢}{\text{ث } ١} = \text{ث.ر.} \quad (\text{ ثابت التفاعل عند الاتزان })$$

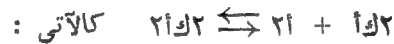
$$\frac{\text{ج.د}}{\text{أ.ب}} = \text{ث.ر.} = \text{ثابت الاتزان}$$

$$= \frac{\text{نسبة تركيز المواد المتفاعلة}}{\text{نسبة تركيز نواتج التفاعل}}$$

ويكون لثابت الاتزان قيمة ثابتة عند كل درجة حرارة وتتجه كل مجموعة متفاعلة الى نقطة الاتزان عادة بتغيير نسب تركيز المواد المشاركة في التفاعل .

وفي حالة التفاعلات النى تجرى داخل المحولات يلاحظ أن المواد الموجودة في الحثت نفاعل مع المواد الموجودة في المعدن وللتمييز بين تركيز المادة في المعدن وفي الحثت جرى العرف على التعبير عن تركيز المواد في المعدن بوضعها بين قوسين مستطيلين [ ] وتركيز المواد في الحثت بوضعها بين قوسين مسنديرين ( ) .

ويعبر عن المواد الغاربة الداخلة في نفاعل ما عادة بضغطها الجزئى ( ض ) أى أن ثابت الاتزان للتفاعل :



$$\text{ث.ر.} = \frac{\text{ض } ٢ ك٣}{\text{ض } ٢ ك١ \times \text{ض } ٢ ك٢}$$

#### ٤ - المبادئ الأساسية لتحويل الزهر

يحتوى الحديد الزهر على عنصر الحديد ممحدا مع عدد من العناصر الكيميائية الأخرى أهمها الكربون والمنجنيز والفوسفور والكبريت والسليكون .

ونتوقف نسب هذه العناصر في الحديد الزهر على التركيب الكيميائي للمواد الخام المكونة لشحنة الفرن العالى وفى مقدمتها خام الحديد وفحم الكوك والحجر الجيري كما تتوقف أيضا على طريقة تشغيل الفرن العالى نفسه وعموما يحتوى الحديد الزهر على ٣ - ٤٥٪ من الكربون ، ١٥ - ٢٥٪ للمنجنيز وتصل نسبة الكبريت به الى ٠٣٪ ، ٢٥ - ٢٥٪ من الفوسفور ، ٥ - ٤٪ من السليكون .

وعند تنقية الحديد الزهر بتحويله الى صلب يجب أن تزال هذه العناصر جميعا أو على الأقل تخفض نسبتها كثيرا وتنقسم طرق انتاج الصلب - ومنها طرق النفخ - من وجهة النظر الكيميائية الى أسلوبين رئيسيين :

### الأسلوب الحمضى ، والأسلوب القاعدى :

ويمكن ازالة كل من الكربون والمنجنيز والسليكون بسهولة نسبية فى أى من هذه الطرق سواء كانت حمضية أو قاعدية ولكن ازالة كل من الفوسفور والكبريت تتطلب ظروفًا خاصة يمكن توافرها فقط بتطبيق الأسلوب القاعدى حيث يضاف الجير الى الشحنة لتكوين خبث قاعدى ويستطيع الخبث القاعدى تكوين مركبات مع الفوسفور والكبريت أثناء عمليات التنقية وبذلك يتخلص المعدن من كليهما .

وتبعا لطبيعة الخبث الكيميائية يجب أن تجرى كل طريقة فى جهاز يبطن بحراريات لها تركيب كيميائى خاص والا تفاعلت مع الخبث وتعادلت مع مكوناته فتتدهور البطالة سريعا .

ويتحد الاكسجين بالعناصر غير المرغوب فيها ( باستثناء الكبريت ) والتي يطلق عليها اسم الشوائب كما يتحد بعض الحديد - وهذا أمر لا مفر منه وتتكون أكاسيد يغادر بعضها منطقة التفاعلات على هيئة غازات ويشترك البعض الآخر فى تكوين الخبث .

والكبريت لا يمكن ازالته باتحاده مباشرة مع الاكسجين ولكن ازالته تعتمد بدلا من ذلك على قاعدين الخبث ودرجة حرارته .

وتتابع عمليات تنقية الحديد الزهر على نحو مطرد ويلزم ذلك ارتفاع مستمر فى درجة انصهار الشحنة مما يوجب مداها بكمية وفيرة من الحرارة حتى تظل منصهرة .

وبوجه عام تتشابه جميع أنواع الصلب ذات التركيب الكيميائى الواحد - مهما اختلفت طرق صناعتها - فى الخواص الميكانيكية والفيزيائية .

فالصلب الذى يصنع بطرق النفخ وله نفس التركيب الكيميائى لذلك الصلب الذى يتم صنعه فى الفرن المفتوح القاعدى - خاصة فيما يتعلق بنسبة كل من الفوسفور والكبريت والنتروجين - سوف يكون خواصهما متقاربة ، وقد يستخدم فى نفس تطبيقاته العامة .

وهناك بعض تطبيقات يفضل فيها استخدام الصلب المصنوع بطرق النفخ - خاصة صلب بسمر - عن الصلب المصنوع بأى من الطرق الأخرى لما يتمتع به من خواص ميكانيكية وفيزيائية مطلوبة نتيجة لتركيبه الكيميائى .

#### ( ١ ) قواعد انتاج الصلب بطرق النفخ :

لانتاج الصلب بطرق النفخ يدفع الهواء - أو غاز الاكسجين النقى أو - خليط منهما أو غيرهما من الغازات الأخرى المؤكسدة - تحت ضغط خلال الحديد الزهر أو فوق سطحه وبذلك يتحول الى صلب .

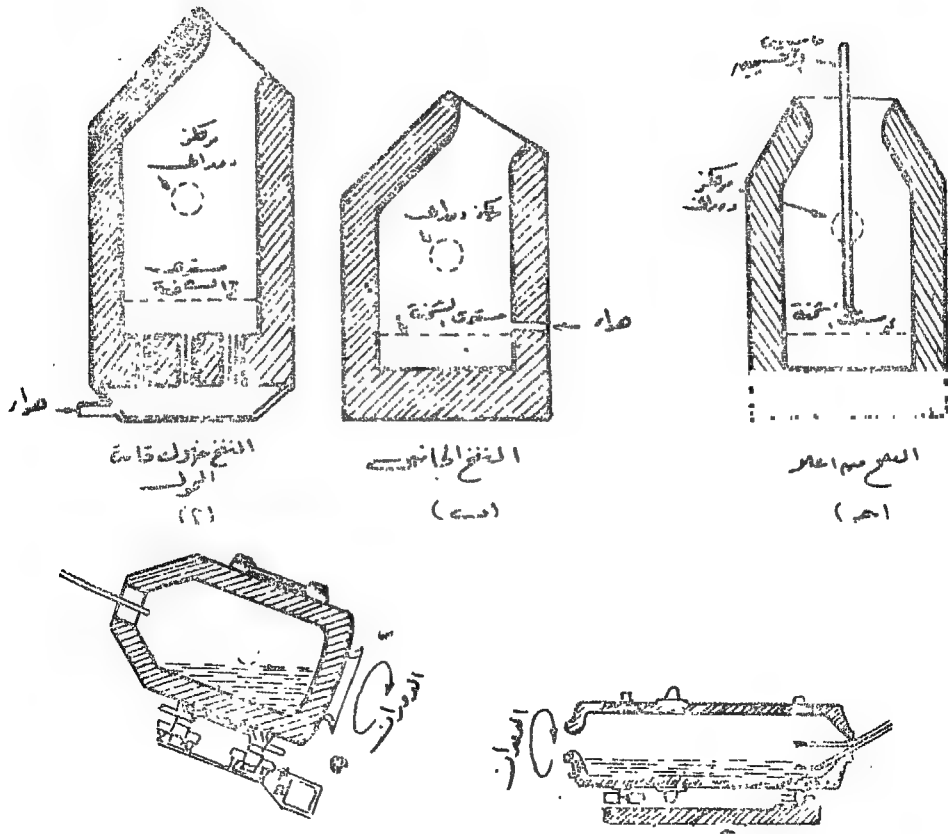
وإذا استخدم الهواء منفردا لنفخ الحديد الزهر فان النتروجين الذى يمثل أربعة أخماس حجمه لا يقوم بأى دور مفيد بل على النقيض من ذلك فانه يأخذ معه عند مغادرته الشحنة المنصهرة كمية لا بأس بها من الحرارة كما يعمل من ناحية أخرى على افساد خواص الصلب المنتج عند تذابوب جزء منه فى المعدن المنصهر وعلى ذلك تختفى المشاكل التى تنشأ عن وجود النتروجين اذا استخدم الاكسجين نقيا فى نفخ الحديد الزهر .

وهناك طرق مختلفة يمكن فيها مد الشحنة المنصهرة بالغاز المؤكسد ، وفى الوقت الحاضر تستخدم خمس طرق لانتاج الصلب تجاريا وهى موضحة تخطيطيا فى شكل (٧) .

ويعتبر انتاج الصلب بأسلوبيه الحمضى والقاعدى فى المحول من النوع الأول حيث ينفخ الهواء خلال قاعدته بمثابة العمود الفقرى لهذه الصناعة . ( أنظر شكل ٧ ) .

وفى هذه الطريقة ينتقل هواء النفخ خلال الارتفاع الكلى للمعدن المنصهر حيث يقوم بأكسدة الشوائب وتحويل الحديد الزهر الى صلب .

أما المحول من النوع الثانى (ب) حيث ينفخ الهواء جانبا فيمكن اعداده كى يكون النفخ خلال المعدن نفسه أو مماسا لسطحه .



المحول الدوار ( طريقة الكالدو )

فرن الروتور

شكل (٧) : يبين الطرق المختلفة لصناعة الصلب بطارق النفخ

وعلى الصعيد العالمي لم يحظ هذا النوع من المحولات بالانتشار الواسع اذ ظهر عند التطبيق كثير من مشاكل الصيانة وغيرها .

أما في النوع الأخير من المحولات ( ج ) حيث ينفخ الاكسجين النقي من أعلى خلال فوهة المحول من ماسورة تبرد بالمياه ويندفع الغاز بسرعة عالية وتحت ضغط شديد الى المعدن المنصهر فيتقعر سطحه وتزداد المساحة المعرضة للتفاعلات المباشرة مع تيار الغاز .

وفي طريقة الكالدو يدخل تيار الاكسجين مائلا بزاوية صغيرة الى سطح المعدن المنصهر الذي يوجد في محول شبه المحولات السابقة ويميل محوره على الأفقى بزاوية ملائمة ( كما في الشكل ) ويدور بسرعة معينة .

أما فى طريقة الروتور فيحقن غاز الاكسجين النقى تحت سطح المعدن المنصهر فى فرن اسطوانى أفقى يدور ببطء بينما يدفع تيار من اكسجين تجارى ( نقاوته أقل من عادية ) فوق مصهور المعدن .

#### ( ب ) خصائص ومميزات الصلب المصنوع بطرق النفخ :

بينما ننفرّد الطرق الغازية لصناعة الصلب بميزات عديدة أهمها سرعة الانتاج وبساطة التشغيل فانها فى نفس الوقت لا تخلو من بعض العيوب الكيميائية وهذه أمكن التغلب على الجزء الأكبر منها بتطبيق طرق النفخ الحديثة . فمثلا يحتوى أنواع الصلب المصنوعة فى محول بسمر بنفخ الحديد الزهر بالهواء فقط خلال قاعدة المحول عموما على نسبة عالية من الفوسفور والكبريت والنتروجين بالقياس الى النسبة المناظرة لهذه العناصر فى أنواع الصلب المصنوعة فى الفرن المفتوح القاعدى وقد نضيق الهوة بين نسب العناصر عند المقارنة بين أنواع الصلب المصنوع فى كل من محول توماس أو بسمر القاعدى ( والفرن المفتوح القاعدى اذا أخذنا فى الاعتبار : الفوسفور والكبريت ولكنه من المتعذر انتاج صلب توماس تنخفض فيه نسبة النتروجين اذا استخدم فى النفخ هواء منفرد .

وعندما تكون نسبة كل من الفوسفور والكبريت والنتروجين فى صلب توماس مرتفعة عند المقارنة بصلب الفرن المفتوح القاعدى فان ذلك يؤدى الى ارتفاع نقطة الخضوع به وزيادة مقاومته للشد بينما تخفض مطيليته عن صلب الفرن المفتوح القاعدى . . وعلاوة على ذلك فانه اذا ما ارتفعت نسبة النتروجين فى الصلب المصنوع بطرق النفخ تعرض لفقد بعض مطيليته نتيجة لما يعرف بظاهرة الازمان .

ويمكن تفهم سبب انخفاض نسبة النتروجين فى الصلب المنتج فى محول جانبي النفخ ( حيث يمر تيار الهواء مماسا لسطح المعدن المنصهر ) عنه فى الصلب المنتج فى محولات بسمر أو توماس ( حيث يتم نفخ الهواء خلال قاعدة المحول ) مع أن غاز النفخ فى كلتا الحالتين هو الهواء اذ أن فرصة تعرض المعدن المنصهر للنتروجين فى هواء النفخ فى الحالة الأولى تكون أقل منها فى الحالة الثانية . أما فى طريقة النفخ العلوية بالاكسجين النقى فتتعدم تقريبا فرصة تعرض المعدن المنصهر للنتروجين - اللهم الا من الهواء الخارجى - وعليه تنخفض كثيرا نسبته فى الصلب الناتج .

وهناك عيب آخر فى طرق النفخ لصناعة الصلب يكمن فى الصعوبة

النسبية التى تواجه عملية ضبط نسبة الكربون فى المنتج النهائى بإحكام ودقة كما يحدث عند صناعته فى الفرن المفتوح القاعدى اذ تمتاز الطريقة الأخيرة بفرصة مفتوحة لضبط نسبة الكربون فى الصلب المنتج .

ولما كانت طرق النفخ لصنع الصلب تتسم بالسرعة فانه من العسير ايقاف النفخ فى الوقت المناسب بالضبط عندما تصبح نسبة الكربون فى المعدن هى المنشودة وبالتالى كانت التشكيلة المتاحة من الصلب المنتج بهذه الطرق محدودة ولا تتعدى فى أغلب الأحيان الصلب منخفض الكربون ( نسبة الكربون حوالى ٠.٣٪ ) والصلب التجارى ( نسبة الكربون حوالى ٠.٥٪ أما اذا كان مطلوباً صنع صلب عالى الكربون فانه يمكن تحقيق ذلك بنفخ المعدن المنصهر حتى نسبة منخفضة من الكربون ثم إعادة كربنة الصلب بإضافة مواد مكرينة .

يضاف الى ما سبق من العيوب عيب آخر لا يقل عنها شأنًا فى صناعة الصلب بطرق النفخ لا يمكن السيطرة بسهولة على درجة حرارة النفخ النهائى فهى رهن بعوامل عديدة منها :

الحرارة الطبيعية للحديد الزهر وهى التى يمكن قياسها بأجهزة القياس المختلفة كالمزدوجات الحرارية والحرارة الكيميائية له وهى الحرارة التى تتولد عند أكسدة الشوائب ويمكن حسابها من معادلات التأكسد ، ونسبة الغازات المؤكسدة فى غازات النفخ ودرجة حرارته وغيرها من العوامل الأخرى التى اذا ما أضيف إليها عامل السرعة فى هذه الطرق أصبح التحكم فى درجة الحرارة ضرباً من المستحيلات .

وفى السنوات الأخيرة أصبح فى الامكان تطوير طرق النفخ حتى يمكن التغلب على القصور الموجود بالطرق القديمة السابقة وقد تحقق ذلك بفضل استخدام الاكسجين النقى والهواء المزود بالاكسجين وخليط من الاكسجين والبخار وخليط من الاكسجين وثنائى أكسيد الكربون وغيرها من الغازات المؤكسدة الأخرى أو خليط منها .





## الفصل الثانى

### الحراريات المستخدمة فى المحولات

تعتبر المواد الحرارية من العناصر الأساسية التى تلزم انتاج الصلب من المحولات ، ذلك أنها تعد الجزء الواقى من تأثيرات الحرارة الشديدة التى تنسم بها عمليات انتاج الصلب .

ومن اللازم أن يكون انتقاء المادة الحرارية التى تصلح للتعامل مع الحديد الزهر الداخلى الى المحولات بحيث تتمكن المادة الحرارية من مواجهة التأثيرات الحرارية والكيميائية للحديد الزهر والخبث بشتى التفاعلات المصاحبة لعملية تحويل الحديد الزهر الى صلب . كذلك يشترط أن تتصف المادة الحرارية بقوة مقاومة ميكانيكية جيدة للصمود أمام الحركة الميكانيكية للمحول والتأثير الميكانيكى للنحات الناشئ عن حركة الهواء أو الأكسجين ( الوسط المؤكسد ) داخل المحول وحركة حمام المعدن المنصهر على سطح الحراريات .

ويحدث تأثير مشترك بين سطح المعدن والحراريات المكونة لبطانة المحول وقاعدته وكذلك بطانة الخلاط .

وينبغى أن تكون خواص المادة الحرارية فيزيقيا وكيميائيا بحيث يمكنها مقاومة هذا التأثير المشترك لفترة زمنية طويلة تختلف تبعا لاقتصاديات العملية وتسمى هذه الفترة بعمر أداء المادة الحرارية أثناء التشغيل وهى عامل هام لتحديد نظام تشغيل الوحدة .

#### وتتحدد الخواص المطلوبة من المادة الحرارية كالآتى :

- ١ - الصمود للحرارة : أى المقدرة على تحمل درجات الحرارة العالية بدون أن تتصدع .

٢ - المقاومة للحريق : اى المقدرة على أن نظل صديقه تحت أحمال عند درجات الحرارة العالية . وقد وجد ان الطوب الحرارى الذى يتعرض لأحمال معينة - مثلا وزن الطوب الذى قد شيد فوفه أو قد يعرض لضغوط جانبية نتيجة لتمدد الطوب المجاور له فى المحول - يبدأ فى فقد صلابته ونسوه أبعاده عند درجة حرارة أقل من صموده للحرارة .

ودرجة الحرارة التى عندها يبدأ التشويه الديناميكي « أى نحت أحمال لها أهمية خاصة للحراريات المستعملة فى تبطين المحولات وتقاس بدرجة حرارة محسوبة عند ضغط قدره ٢ كجم/سم<sup>٢</sup> على مساحته المطلوبة .

٣ - المقاومة للصدمات الحرارية : أى مقدرة الطوب الحرارى على مقاومة التشقق عند التعرض لتغير فجائى حاد فى درجة الحرارة .

٤ - المقاومة للنشاط الكيميائى مع الجليخ : وهى قدرة الحراريات على الثبوت أمام التفاعلات الكيميائية فكلما قلت قدرة المعدن ( والجليخ فى حالة الانصهار على استهلاك الحراريات ) كلما زادت كفاءتها .

### أنواع الحراريات

تختلف الحراريات تبعا لاستعمالها فى محولات بسمر تستخدم الحراريات الحامضية وفى محولات ثوماس تستخدم حراريات قاعدية وهكذا . . . وهناك أيضا حراريات متعادلة وحراريات خاصة .

#### أولا : الحراريات الحامضية :

##### طوب ديناس :

ويصنع هذا الطوب من الكوارتز المجروش مضافا اليه كمية صغيرة من الطفل الحرارى وماء الجير كمادة لاصقة . ويتكون الكوارتز أساسا من ثنائى أكسيد السيليكون  $SiO_2$  وهو يستعمل اما بللوريا أو غير بللورى .

عند تسخين الكوارتز يبدأ فى التحول الى أشكال مختلفة فهو يتحول الى تريديميت ثم كريستوباليت مع زيادة فى الحجم وتبعسا لذلك تقل كثافة النوعية .

ويتمدد طوب ديناس عند رفع درجة حرارته وتعتبر هذه الخاصية

ديرة لها أهميتها فعد تبطين المحول مثلا تتماسك حلقات الطوب بالحام كبير نتيجة للضغط الناتج عن تمددها .

وطوب ديناس له مقاومة كبيرة للحريق وهو يفضل غيره من الحرايات فهو يتمدد حتى درجة ٦٠٠ درجة م ثم ينبت تقريبا عند درجات حرارة أعلى من هذه الدرجة .

## ثانيا : الحرايات القاعدية

### بودرة المجنزيت :

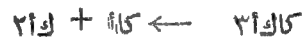
يتكون خام المجنزيت من كربونات الماغنسيوم مع ٣ أ وعند تحميص هذا الخام يتحول الى أكسيد الماغنسيوم مع أ طاردا ثاني أكسيد الكربون ك أ وبطن أكسيد الماغنسيوم نحصل على بودرة المجنزيت .

وتستعمل بودرة المجنزيت كمادة أولية لصناعة طوب المجنزيت وكرومجنزيت لصناعة بطانة محولات توماس التي تستخدم أكسجيننا في النفخ .

### الدولوميت المحروق :

الدولوميت الخام يتكون من كربونات الكالسيوم والماغنسيوم ( كال أ ٠٣ مغ ك أ ٣ ) مع بعض الشوائب مثل السليكا والألومينا وأكسيد الحديد . ويكون الدولوميت صالحا للاستعمال اقتصاديا اذا احتوى على أكثر من ٢٠٪ أكسيد ماغنسيوم وعلى أقل من ٧٪ سليكا . ويمر الدولوميت بمراحل مختلفة حتى يكون جاهزا للاستعمال كقوالب لبناء بطانة توماس أو قواعد له .

أولا : يخلط الدولوميت الخام ( الكربونات ) بالفحم بنسبة ١ : ١ حجما ثم يحمص في الفرن الاسطوانى عند درجة حرارة حوالى ١٤٠٠° م والفحم هو المصدر الوحيد لهذه الحرارة . أثناء التحميص للدولوميت الخام تتصاعد ما به من رطوبة كلية ثم يتحلل الدولوميت طاردا ثاني أكسيد كربون وفي النهاية نحصل على أكسيد الكالسيوم والماغنسيوم تبعا للمعادلتين :



**ثانيا : يؤخذ الدولوميت المحروق الى اكسيدى الكالسيوم والمغنسيوم فور خروجه من الفرن الاسطوانى ثم يدخل فى طواحين لطحنه وتكسيه .**

**ثالثا : بعد طحن الدولوميت المحروق يمرر على مناخل متدرجة أى بمر أولا على مناخل ضيقة فسيقط الدولوميت الناعم ثم بعد ذلك يمر على منخل أوسع منه فيسقط الدولوميت الأصغر من فتحات هذا المنخل وهكذا وفى النهاية نحصل على تصنيف لهذا الدولوميت المحروق .**

**رابعا : يؤخذ خليط معين من هذا الدولوميت المصنف فيؤخذ من كل حجم كمية معينة تحددها المواصفات وذلك للحصول على أكبر قوة نحمل سواء فى قوالب الطوب أو فى القوالب تماما كما يحدث فى تصنيف خلطة المونة فى المباني فخلطة المونة تتكون من نسب ثابتة من الرمل والزلط والركام والاسمنت والماء .**

**خامسا : تخطط تصنيفة الدولوميت بالقار بنسبة معينة وهذه النسبة تكون ١٢٪ للقواعد ، ٩ - ١٠٪ للطوب ويتم الخلط فى طواحين خلاطة .**

**ويقوم القار بهمتين أساسيتين :**

١ - يستخدم كمادة لاصقة .

٢ - يستخدم لحماية أكسيدى الكالسيوم والمغنسيوم من التميؤ بواسطة بخار الماء والرطوبة الموجودتين فى الجو اذ أن أكسيد الكالسيوم شره لامتصاص بخار الماء .

وهنا يكون الدولوميت القارى ( أى المخلوط بالقار ) معدا لاستخدامه فى صناعة قوالب الطوب والقواعد اللازمة لمحولات توماس .

**طوب الدولوميت :**

عجينة الدولوميت القارى التى سبق تجهيزها تستخدم لصناعة الطوب الدولوميتى ومن المستحسن أن تكون معظم حبيبات الدولوميت أقل من ٢ مم ويضاف الى هذه العجينة بقايا البطانة القديمة بعد تكسيهها ويمكن استخدام البقايا حتى ٥٠٪ من العجينة .

ولعمل القوالب تستخدم ماكينة القولة حيث توضع العجينة فى قوالب وتضغط بشدة تحت ضغط حوالى ٣٠٠ كجم / سم ٢ فتأخذ شكل القالب والقالب يكون عادة مدلويا أى مساحة مقطعة يكون على شكل شبه

منحرف حتى يمكن عمل الحلقات المتتالية للبطانة وهي نشبه عمود المنازل  
والمساجد .

وتحدد أبعاد الطوبة حسب استعمال المحول ففي المحول الذي  
يستخدم فيه أكسجيننا خالصا تكون أبعاد الطوبة  $٤٠ \times ١٧٥ \times ١٧٥$  سم  
ووزنها ٣٦ كجم .

### طوب المجنزيت :

طوب المجنزيت يصنع من بودرة المجنزيت الناعمة مضافا اليها من  
٢ - ٢٥٪ طفل حرارى كمادة لاصقة ويرطب الخليط الى حوالى ٥ - ١٠٪  
ثم يشكل الى طوب تحت ضغط عالى بعد ذلك يجفف ببطء تفاديا لحدوث  
أى تشققات ثم يحرق عند ١٥٠٠ ° م ولكى يستخدم طوب المجنزيت  
بكفاءة فى محول ينفخ بالاكسجين الخالص لا بد وأن يخضع للمواصفات  
الآتية :

الصمود للحرارة - ( م ° )	٢٠٠٠ م ° على الأقل
أكسيد الماغنسيوم بها	٩١٪ على الأقل
أكسيد الكالسيوم بها	٣٪ على الأكثر
أعظم قدرة لها على تحمل الضغوط	٤٠٠ كجم / سم ٢ على الأقل
الوزن النوعى	٢٦٦ كجم / سم ٣ على الأقل
التشويه الحرارى الديناميكى	
عند ٢ كجم / سم ٢	١٥٠٠ م ° على الأقل

وفى بعض الأحيان تصنع المادة الحرارية الملائمة للمعدن والجلج  
فى المحول من طوب مجنزيت خالص له التركيب التالى :

سأ	٩٥-١٠٦ /
كأ	٨٥-١٠٧٪
حأ	٧٠٧-٢٧٧٪
كا	٢٦٦-٢٦٨٪
مغأ	٨٦٧-٨٧٥٪
كب أ	-
فو أ	٨٥-٧١٪
رماد يفقد أثناء الحرق لغاية	٢٤٪

وتكون له الخواص الطبيعية والتكنولوجية الآتية :

المسامية الظاهرية	١٣١ - ١٣٦٪
الكثافة	٣١٤ جم / سم ٣
الوزن النوعي	٣٦٢
التشويه الحرارى الديناميكي	
معدل $\frac{1}{2}$ كجم / رسم <sup>٢</sup>	١٨٣٠ - ١٨٤٠ م

#### طوب الكرومنجنيزيت :

يصنع هذا الطوب من خليط من بودرة المجنزيت والكروميت المطحون بنسب مختلفة ، والكروميت خام حرارى طبيعى متعادل يحتوى على أكسيدى الكروم والحديد ح أ ، كر ٢ أ مع بعض الشوائب مثل أكاسيد السيلكون والالومونيوم والمغنسيوم . وصمود الكروميت للحرارة عال نسبيا اذ يبلغ ٢١٨٠ م ولكن ما به من شوائب تخفض من نقطة الانصهار .

ويمكن الحصول على طوب كرومنجنيزيت ذى صفات طبيعية وتكنيكية ممتازة وذلك باختيار التوزيع الحبيبي للمواد الأولية اللازمة لصناعة هذا الطوب وكذلك بتوفير أحسن الظروف للاحتراق .

#### الحراريات الحمضية ( الشاموت ) :

تصنع منتجات الشاموت من خليط من بودرة الشاموت والطفل الحرارى الجاف بعد طحنه وكمية الألومنيا بالطفل الحرارى هى التى تحدد درجة هذا النوع من الحراريات ( درجة أ ، ودرجة ب ، ودرجة ح ) .

وهذه هى نسب مكونات طوب الشاموت :

س أ	٥٢ - ٦٠ ٪
كر ٢	٣٠ - ٤٢ ٪
ح أ ٢	١٥ - ٣ ٪
كا أ	٣ - ٧ ٪
فو أ	١ - ٥ ٪

والمواصفات التى يجب أن تتوافر فى طوب الشاموت وهى :

درجة ج	درجة ب	درجة أ	الصمود للحرارة °م
١٦١٠	١٦٧٠	١٧٣٠	
	لم تحدد	١٣٠٠	التشويه الحرارى الديناميكى عند ٢ كجم / سم ٤ °م
١٠٠	١٢٥	١٢٤	مقدرة تحمله للضغط كجم / سم ٢
لم تحدد	٣٠ %	٣ %	المسامية الظاهرية

ومن الشاموت يصنع الطوب الحرارى للبواشق كذلك يستخدم فى كثير من الادوات المستخدمة فى الصلب مثل عمود الصب .





## ( الفصل الثالث )

### الخلاط

يوجد فى وحدات انتاج الصلب خلاط أو أكثر فى موقع وسط بين أجهزة انتاج الحديد الزهر وأجهزة انتاج الصلب فينقل الحديد الزهر فى بواق تصب فى الخلاط حيث يختزن بعض الوقت لحين شحنه فى أجهزة الصهر بواسطة بواق شحن .

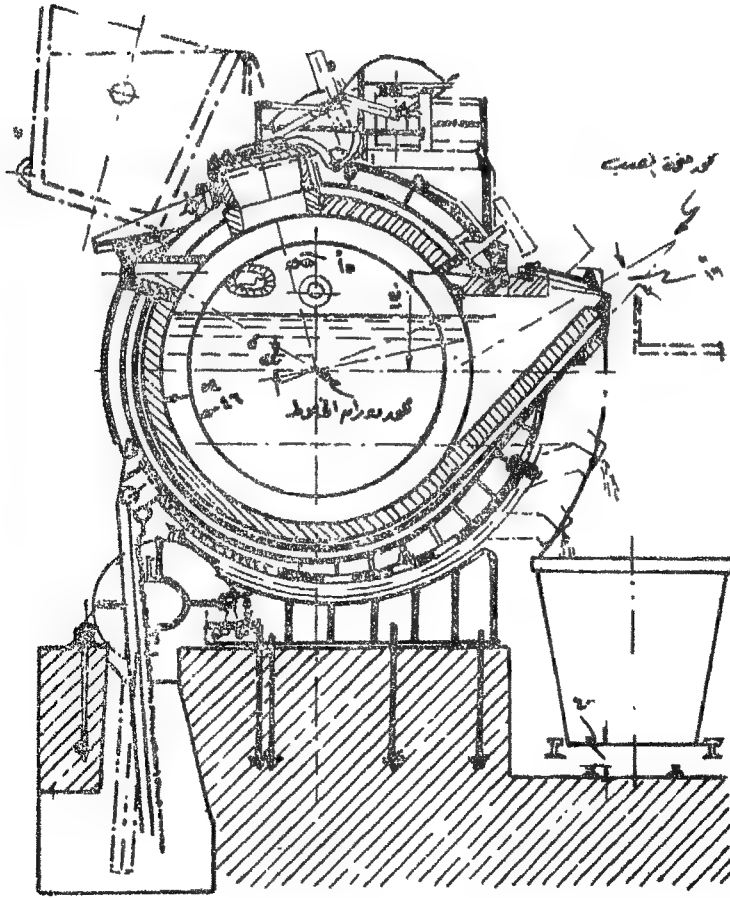
والوظيفة الأساسية للخلاط هى الاحتفاظ بالحديد الزهر منصهرا لحين استعماله حتى يمكن لأجهزة الصهر أن تواصل عملها بكيفية منتظمة ومرضية .

والخلاط وعاء اسطوانى كبير يصنع من ألواح الصلب المبرشمة أو الملحومة ويبطن من الداخل بطوب حرارى .

ويستقر الخلاط على محامل ( كراسى ) خاصة مثبتة فى قاعدة متينة من الخرسانة المسلحة ويمكن امالة الخلاط كهربائيا أو هيدروليكيًا حول محور أفقى بمساعدة اسطوانات تتدحرج على المحامل ، ويراعى عند تصميم الخلاط أن يكون محور دورانها مزايا قليلا ناحية فتحة الصب حتى تعمل قوة الجاذبية الأرضية على إعادة الخلاط الى وضعه الأصلى ( انظر شكل (٥) ) .

ولكى يحتفظ الخلاط بأكبر كمية من الحرارة أى يكون الفقد فى الحرارة أقل مايمكن يجب أن تكون المساحة السطحية للخلاط أقل مايمكن بالنسبة الى حجمه ويتحقق ذلك عندما تكون النسبة بين طول الخلاط الى قطره مساوية أو أكبر قليلا من الواحد الصحيح .

وللخلاط فتحتان احدهما لشحنه بالحديد الزهر والثانية لصبه منه الى أجهزة الصهر وتغطى كل فتحة بغطاء من الحديد المبطن بالطين الحرارى .



شكل (٥) : خلاط سعته ٦٠٠ طن

وتستخدم غازات الافران والمازوت في توليد الطاقة الحرارية اللازمة لحفظ درجة حرارة الحديد المنصهر داخل الخلاط عند ١٣٠٠ درجة م تقريبا .  
وتحدد سعة الخلاط بمعرفة كمية الحديد الزهر اللازمة لتشغيل وحدات الصهر من ٨ - ١٠ ساعات .

واستعمال الخلاط بسعة مناسبة يحقق الاغراض التالية :

١ - استمرار وحدات الصهر في التشغيل دون ارتباك اذا كان هناك أى عطل في الافران العالية أو تأخر الحديد الزهر القادم منها لسبب أو لآخر .

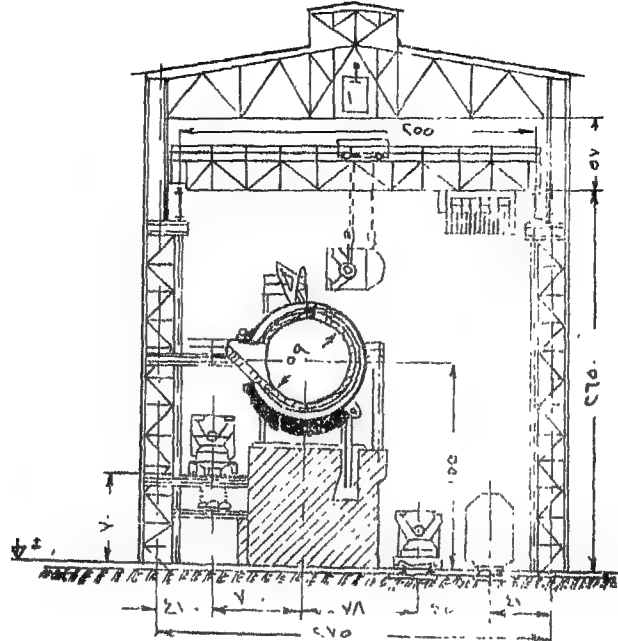
٢ - العمل على تجانس الحديد الزهر القادم من الافران المختلفة ومن الصببات المختلفة أيضا فتخرج الشحنات الى وحدة الصهر ذات تركيب كيميائي متماثل مما يساعده على انتظام التشغيل فيها .

٣ - المحافظة على درجة حرارة الحديد الزهر عند حد معين مناسب حتى تتم النفاعلات الكيميائية بكيفية سلسلة ومنظمة .

٤ - إتاحة الفرصة لخفض نسبة الكبريت في الحديد الزهر الى حد ما وينتج ذلك عن طريق التفاعل الطارد للحرارة الآتى :



وتعتمد ازالة الكبريت من الحديد الزهر على كمية المنجنيز الموجودة به كما تتوقف على زمن نقل الحديد الزهر من الافران العالية بواسطة البوادر الى الخلاط حيث ينضم كبريتيد المنجنيز الناتج الى الحث ويشترك في تكوينه ونتيجة للتفاعل المشار اليه يتكون على سطح الحديد الزهر فى الخلاط بعض الحث المحنوى على نسبة كبيرة من الكبريت ويجب ازالة هذا الحث سواء عند شحن الخلاط بالحديد الزهر أو صبه منه فى بوادر شحن أجهزة الصهر .



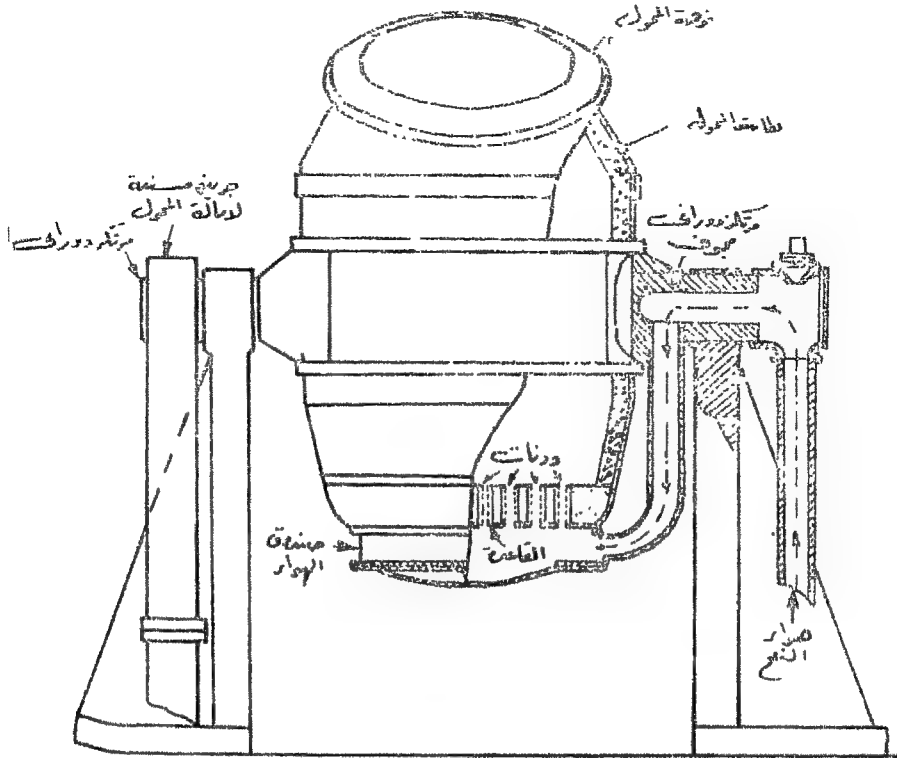
شكل (٦) : قطاع فى قسم الخلاط - وهو مقام فى مصنع حديث لحوالات بسم .



## الفصل الرابع

### إنتاج الصلب من محولات بسمر

يحدد أبعاد عمالية تحويل الصلب في محولات بسمر بناء على البطانة الحرارية الحامضية للمحول والتحليل الكيميائي للحديد الزهر . وتتم العملية بالاستفادة من الحرارة الفيزيائية للحديد الزهر المنصهر وكذلك الحرارة المتصاعدة نتيجة أكسدة الشوائب بفعل الأكسجين الموجود في هواء النفخ ويعتبر السليكون هو العنصر الأساسي للإمداد الحراري لصبية المحول ويكون الخبث الناتج من محول بسمر غنيا بالسايكا (س٢١) الناتجة عن أكسدة السليكون الموجود في الحديد الزهر والسليكا الموجودة



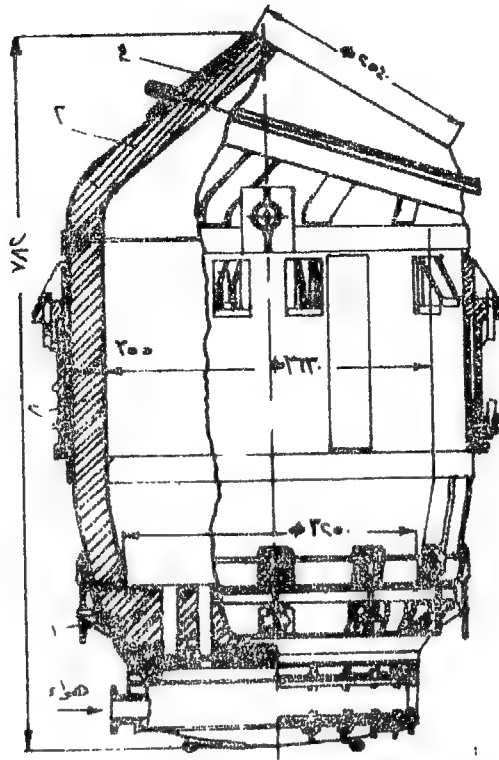
شكل (٨) يوضح تفاصيل المحول ، وكيفية دخول هواء النفخ فيه

في البطانة الحامضية ونعوق الطبيعة الحمضية لخبث محولات بسمر وجود سلبكا غير متحدة ازالة الكبريت والفوسفور من المعدن .

ويدخل الهواء الى المحول فيساعد على تقليب شحنة المحول بشده ويتخلل هواء النفخ حمام المعدن فيتأكسد الحديد في أول الامر باعتباره المكون الاساسي للحديد الزهر وينتشر أكسيد الحديد الناتج عن أكسدة الحديد خلال شحنة المحول مؤديا الى اختزال السليكون والمنجنيز والكربون الموجود في الحديد الزهر . وقد يتأكسد بعض هذه الشوائب مباشرة بالهواء الجوي ويؤدي التقليب الشديد في حمام المعدن الى زيادة مساحة سطح التلامس للتفاعلات بدرجة كبيرة فتتعاظم سرعة التفاعلات .

#### ١- تصميم محول بسمر

يبين شكل ( ٩ ) رسما تخطيطيا لاحد محولات بسمر وتبلغ سعته ٣٥ طنا .



شكل (٩) محول بسمر يسع ٣٥ طنا :

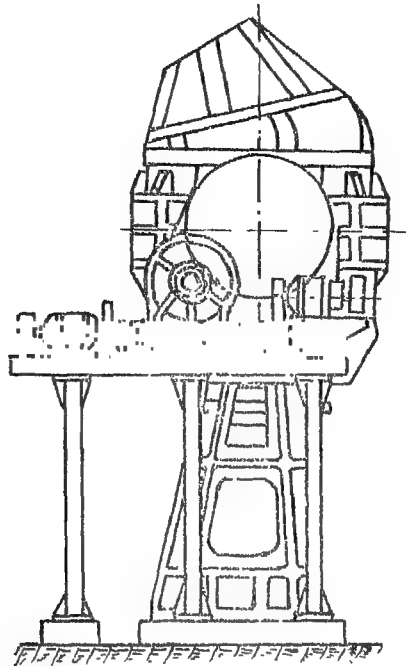
- |                  |                     |
|------------------|---------------------|
| ١ - قاعدة المحول | ٢ - الجزء الاسطواني |
| ٣ - بطاء المحول  | ٤ - لوحة المحول     |

### جسم المحول :

يصنع من الواح فولاديه سميكة ملحومة مع بعضها البعض أو  
ممسكتها مع بعضها سرائط حاكمه . ويتراوح سمك الألواح بين ١٥ - ٢٥  
ملليمترًا تبعًا لسعة المحول وينضمّن جسم المحول ثلاثة أجزاء : وعاء  
أسطوانى له قاعده يمكن تغييرها وجزء مخروطى علوى وفوهة قابلة  
للاستبدال تصنع من الصلب المصبوب

وتكون قاعدة المحول ذات شكل أسطوانى أو مخروطى ويكون  
بصميمها بحيث يمكن تثبيت صندوق لهواء النفخ ليمر هذا الهواء من  
خلاله الى المحول وعند تغيير القاعدة يتم فصلها عن الجزء الاسطوانى  
وصندوق الهواء \*

ويحيط بالجزء الاسطوانى من جسم المحول حزام مصنوع من الصلب  
المصبوب ينصل بترسين مركبين على كراسى تحميل ويكون أحد الترسين  
مجهزًا لمرّ خلاله هواء النفخ حتى صندوق الهواء ويرتبط الحزام بجسم  
المحول بمجموعة من المواسك ( قباقيب ) وعادة يكون قطر الحزام أكبر من



شكل (١٠) : محول قائم على قاعدته ، ويرى بالشكل جهاز ادارته بالكهرباء .

قطر المحول وبينهما فجوة هوائية لتجنب الأضرار الناشئة على الحزام من تمدد جسم المحول والحيلولة دون تشوه الحزام ويمكن امالة المحول بواسطة موتورين كهربائيين ويمكن لاهدهما منفردا أن يحرك المحول ويكون الآخر احتياطيا .

وأحيانا تتم امالة المحول بطريقة هيدروليكية عن طريق ترس وجريدة مسننه حبيب ينصل الترس بحزام المحول وبتحريك الجريدة لأعلى وأسفل يمكن امالة المحول للأمام والخلف ويبلغ الضغط الهيدروليكي اللازم لتشغيل المحول ٣٠ - ٥٠ جوى .

ويقع محور مركزى الترسين على ارتفاع من الأرض يسمح بدخول عربة تحميل بودقة لتلقى صبة الصلب بعد انائها من المحول وكذلك دخول قطار سكك حديدية يحمل وعاء أو بودقة لتلقى خبث الصبة .

#### بطانة المحول :

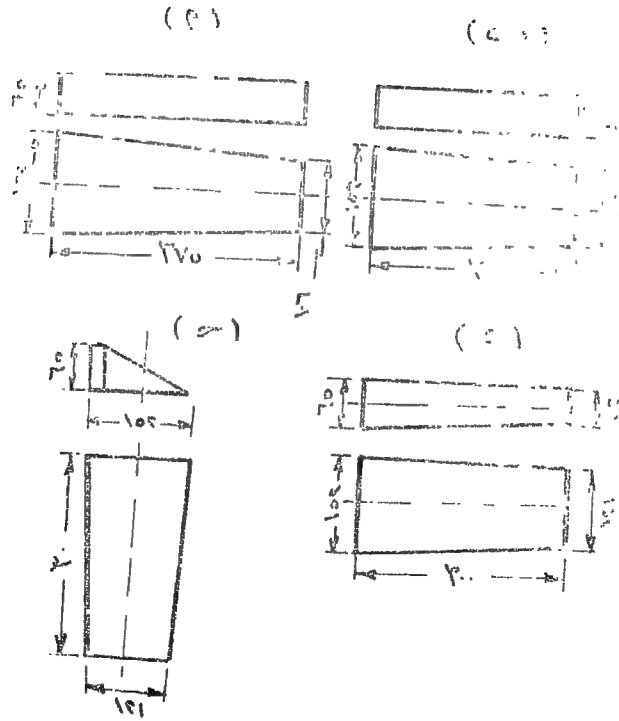
يصنع بطانة محول بسمر من طوب ديناس ويتخذ الطوب هيئة تتسق مع شكل جسم المحول وتتفق أبعاده مع قطر المحول .

وتترك مسافة ٣٠ - ٥٠ مم بين طوب البطانة وجسم المحول تملأ بحبيبات ناعمة من نفس مادة الطوب الحرارى بعد خلطها بالمونة اللازمة لتماسكها . وينراوح سمك البطانة الحرارية بين ٢٥٠ - ٤٠٠ مم ويزداد السمك عند المناطق المعرضة أكثر من غيرها للتآكل . وتحتوى المونة المستخدمة على ٨٠ - ٩٠٪ من مسحوق الكوارتز بحجم حبيبي لا يزيد عن ٥٠٠ ميكرون واحد . ٢٠ - ١٠٪ من طفل حرارى مسحوق بعد خلطه بالماء حتى يصبح غليظ القوام . ويراعى تخليط المونة جيدا قبل اضافة الماء واستخدامها فى غضون ٦ ساعات بعد اضافة الماء .

ويوضح شكل (١١) انواع الطوب الحرارى المستخدم فى البطانة ونصنع الصفوف العشرة السفلية من الطوب ( أ ) والجزء الاسطوانى من الطوب ( ب ) بينما يبنى الجزء الكروى والفوهة من النوعين ( ج ) ، ( هـ ) بتوافقات محددة فى كل صف .

وينبغى العناية أثناء التبطين بحيث يوضع الطوب دون تنصيفه أو جزئيه مع ملء الفراغات بالمونة جيدا . وبعد انتهاء التبطين ينبغى تحفيف البطانة وتسخينها ( تحميمها ) لتجنب التشقق الذى يمكن أن





شكل (١١) : أشكال الطوب التي ستستخدم لبناء الأجزاء المختلفة من المحول .

يعتريها اذا تعرضت لصدمة حرارية ( تسخين مفاجيء ) وتجرى عملية التجفيف والتحميص بفحم الكوك أو الغاز الطبيعي مع الاستعانة ببعض الاخشاب . في أول الأمر . ويراعى التحكم في درجة الحرارة أثناء التحميص عن طريق ازدواجات حرارية نوضع عند قمة الجزء الاسطوانى من المحول على بعد ٢٠ - ٢٥ مم من السطح الداخل للبطانة ويعطى البرنامج التالى صورة لعملية التحميص وسيرها :

من ١٠°م حتى ٢٢٠°م بمعدل ٢٠°م فى الساعة لمدة ٧ ساعات  
من ٢٢٠°م حتى ٥٢٠°م بمعدل ٦٠°م فى الساعة لمدة ٥ ساعات  
من ٥٢٠°م حتى ٩٠٠°م بمعدل ١٠٠°م فى الساعة لمدة ٤ ساعات

اجمالى فترة التسخين ١٦ ساعة :

وبعد تدفئة البطانة بالخشب وفحم الكوك ينفخ جزء من الهواء وتتبخر الرطوبة من البطانة نتيجة لذلك ، وبعد نفخ عدد من الصبات فى المحول

براعى فحص البطانة فحصا كاملا وبالعلاج العيوب والتشققات التى قد تظهر بها بواسطة مركب من الكوارتز والطفل الحرارى .

### قاعدة المحول :

تتخذ قاعدة محول بسمر احدى صورتين : اما قاعدة جاسنة من الشاموت تحتوى على عدد كبير من الفتحات مننظمة المقطع واما ما يسمى بالقاعدة الابرية التى تحتوى على عدد أقل من الفتحات يصلح اوضع ودنات حرارية من الشاموت الدخول هواء النفخ ويندر استخدام القواعد الابرية فى محولات بسمر لضعف مقاومة مادة الودنات امام تأسير أكسيد الحديدوز عن القاعدة الشاموت .

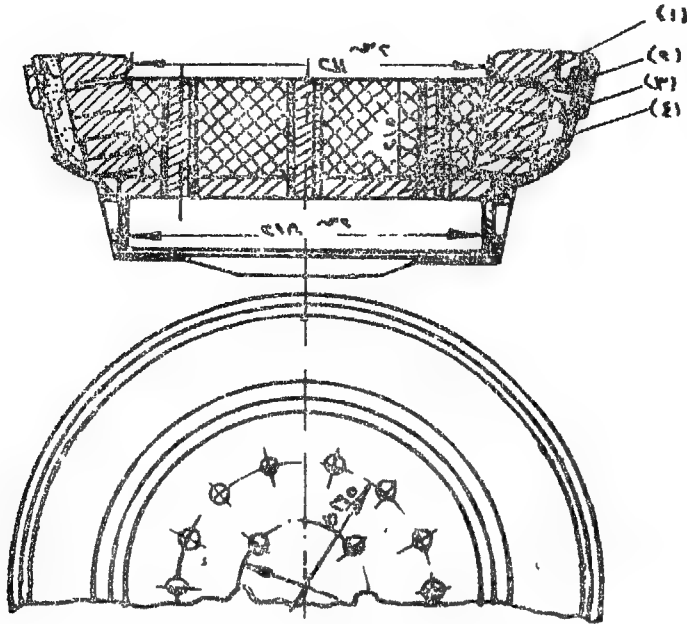
ويراعى أن تكون الخلطة المستخدمة فى ذلك القاعدة خلوا من الشوائب الضارة عند تشغيل القاعدة ويوضح الجدول التالى لنسب الوزنية للخلطات المستخدمة فى ذلك قواعد محولات بسمر ( ٤ خلطات ) .

المواد	الخلطة الأولى	الخلطة الثانية	الخلطة الثالثة	الخلطة الرابعة
مسحوق كوارتز مصنع دن كوارتز مبلور به ٩٥٪ س ٢١ حد أدنى	٥٠	٥٠-٤٠	٣٢	-
طفل كاولين به ٢٠٪ يد ٢١ حد أدنى	٣٠	-	-	-
طفل حرارى لون به ٣٢٪ لو ٢١ حد أدنى	١٠	٢٠-٣٠	٢٨	٢٤
فحم كوك ناعم	١٠	٤-١٠	٤	٨
مسحوق شاموت	-	٢٠-٣٠	٣٦	٦
جانبستر	-	-	-	٥٦
مخلوط قواعد مستعملة	-	-	-	٦

وتتمثل النسب الحجمية فى الجدول التالى

المادة	٥ مم	٥ - ١ مم	١ - صفر مم
كوارتز	لا يزيد عن ٥	٥٠-٤٠	٥٠-٦٠
شاموت	لا يزيد عن ٣	٤٠-٣٠	٦٠-٧٠
طفل حرارى	-	٣٥-٢٥	٦٥ - ٧٥

وتخلط مكونات الخلطة جيدا وهى جافة ثم ترطب بالمياه بسبب ٦ - ٨ / ويتم ذلك الفراغ بين القاعدة الحرارية وجسم قاعدة المحول بمخلوط لملء هذا الفراغ مع معالجة العيوب الظاهرة فى الطوب المخروطى الشكل وتحتوى المونة الحرارية اللازمة للمخلوط المائى على ٤ أجزاء من الكوارتز ، وجزء واحد من الطفل الحرارى بالوزن .



شكل (١٢) يبين قاعدته من كوكبة تناسب محول بسعة ٢٠ طنا .

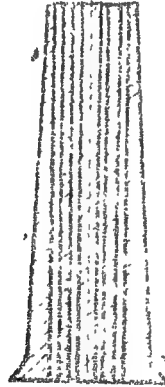
- ١ - الجزء المخروطى
- ٢ - الخليط الحرارى المدكوك
- ٣ - ودنه
- ٤ - اللوح المعدنى

ويجرى ذلك القاعدة على قرص من الحديد الصب به فتحات سطوح على سمات القاعدة ويراعى تنظيف القرص من الاتربة والمخلفات قبل أى عمل أسير وكذلك تنظيف الحرارية الخاصة بالحلقة المخروطية وذلك بالهواء المضغوط وضبط مواضع الفتحات بالقرص على الودنات ثم يدك المخلوط بالهواء المضغوط الذى لا يقل ضغطه عن ٥ ضغط جوى ويتم ذلك على طبقات منفصلة وبصفه مستمرة وبضغط منتظم وبعد انتهاء ذلك القاعدة توضع فى فتحات الودنات سدادات ملائمة لمنع انسدادها أثناء التجفيف والتحميص .

وتحمص القواعد فى أفران خاصة يتم اشعالها بغاز الكوك أو بالغاز الطبيعي ويستغرق تحميص القاعدة وتبريدها بعد ذلك داخل الفرن ٣٤ ساعة .

ويبلغ عمر تشغيل قاعدة محمول بسمر المدكوكه ١٥ - ٢٥ صبه ويساد الحيز الواقع بين القواعد الطوبية والودنات بطوب ديناس مع مونة سائلة من الكوارتز ( ١٢ جزءا ) والطفل الحرارى ( جزء واحد ) بعد الخلط مع محلول مائى لسائل كبريتيدى ويسنمر أداء القواعد الطوبية ١٢٠ - ١٣٠ صبه ولكن استخدامها لبس شائعا اذا يسنلزم الأمر تغيير الودنات كثيرا أثناء التشغيل .

ويجرى تغيير القاعدة بواسطة عربة سكة حديد مجهزة خصيصا لهذا الغرض .



شكل (١٣) : قصبه من الساموت بها ١٢ فتحة للهواء ٠٠٠ نظر كل منها ١٦ مم .

وتحتوى القواعد المدكوكه على ٢٠ - ٣٥ ودنة بينما تحتوى القواعد الطوبية على ٧ - ١٢ ودنة ويؤدى زيادة عدد الودنات عن ذلك الى الاضرار بالبطانة .

## عمر البطانة :

تتأثر بطانة المحول وقاعدته بتأثير الفعل الميكانيكي والكيميائي للمعدن والخبث ويبلغ التأثير اقصىه عند القاعدة والجزء السفلى من البطانة ونبلى درجة الحرارة ودرجات أكسيد الحديد وأقصى حد لهما فى مناطق التفاعلات عند الودنات ويتفاعل أكسيد الحديدوز مع السليكا الموجودة فى البطانة وفى النهاية تتلف البطانة وكلما زادت لزوجة الخبث تبعاً لنسبة السليكا به كلما ازداد احتمال البطانة ويؤدى زيادة نسبة المنجنيز فى الحديد الزهر الى تكوين خبث أكثر سيولة يحتوى على نسبة كبيرة من أكسيد المنجنيز يؤثر على البطانة الحمضية للمحول .

كما تتأثر البطانة كذلك بالتغيرات الدوامية للمعدن والخبث أثناء النفخ وتبعاً لطبيعة العملية ( تحليل الحديد الزهر ، ودرجة حرارة التشغيل ، والطريقة المتبعة لتبريد المعدن فى المحول ، وضغط الهواء ٠٠٠ الخ ) فان البطانة المصنعة من طوب ديناس يمكن أن تستمر ١٣٠٠ - ٢٠٠٠ صبه ويراعى ازالة المخلفات التى تلتصق بفوهة المحول من حين لآخر اذ أن زيادة وزنها يمكن أن تؤدى الى تدمير مباني الفوهة وتستمر حراريات الفوهة عادة ٣٠٠ - ٤٠٠ صبة فى الظروف العادية قبل أن يتطلب الأمر تغييرها وتجرى عدة عمليات ترميم للبطانة أثناء تشغيلها

## الأبعاد الأساسية لمحولات بسمر :

يعتمد تصميم المحول على الحجم النوعى له وهو الحجم اللازم لطن واحد من الشحنة وكلما ازداد الحجم النوعى تنخفض شدة القذف وبالتالي يزداد العائد من المعدن ويجب أن يزداد الحجم النوعى عن واحد صحيح .

ويحدد القطر الداخلى للمحول من الصيغة :

$$ح = ٠.١٤ \times \frac{ط ق}{٤} \times ع \quad \text{حيث}$$

$$٠.١٤ = \text{الحجم النوعى للمعدن م } ٣ / \text{طن}$$

$$و = \text{وزن المعدن فى المحول ( وزن شحنة الحديد الزهر ) بالطن}$$

$$ق = \text{القطر الداخلى للمحول بالمتر .}$$

$$ع = \text{ارتفاع المعدن داخل المحول بالمتر .}$$

ويبلغ ارتفاع الجزء الأسطوانى من المحول ( ١١ - ١٢ ) ق ، وكلما ازداد الارتفاع كلما انخفض القذف ويبلغ القطر الداخلى للفوهة

( ٠٤ - ٠٦ ) في ونؤدى زيادة قطر الفوهة الى زيادة الفذف وانخفاض العائد من المحول وعادة ما تخضع هذه الابعاد للظروف النوعية الخاصة بكل وحدة .

وتتأثر سدة التأكسد وكذلك سدة القذف « القطاع الدائرى » وهو الفرق بين المساحة الداخلية للمحول ومساحة القاعدة وتبلغ المساحة الاجمالية المودنات لكل واحد طن من شحنة الحديد الزهر ٩ - ١٥ سم ٢ . ويتراوح سمك القواعد الجديدة بين ٥٠٠ - ٧٠٠ ميللمتر وتحددها الصيغة الحبرية التالية :

$$\text{سميك القاعدة} = ٠.٤ + ٠.٧ \times \text{حيث}$$

$$ق = \text{القطر الداخلى للمحول بالامتار} .$$

## ٢ - المواد الأولية لشحنة بسمر

### الحديد الزهر :

من البدينى أن التركيب الكيميائى للحديد الزهر يؤثر الى حد بعيد فى سير العملية حيث أن أكسدة الحديد والسليكون والمنجنيز والكربون هى المصدر الوحيد للحرارة التى تكفل لنا الحصول على صلب منصهر عند درجة الحرارة المطلوبة .

وإذا ارتفعت درجة الحرارة الطبيعية للحديد الزهر الداخلى الى المحول أدى ذلك الى انخفاض نسبة الشوائب التى تتأكسد وبالتبعية الى اثبات كمية حرارة أقل ويحدث نفس الشئ عندما تتوالى الشحنات تباعا وبمعدل كبيرة وكانت بطانة المحول لا تفقد الا القليل من الحرارة .

ويبين جدول ( ١ ) التركيب الكيميائى النمطى لشحنة بسمر

النسبة المئوية للعناصر				درجة رتبة
س	م	فو	كب	
١٢٦-١٧٥	٦-١٢	٧	٠.٦	١
٧-١٢٥	٥-٨	٧	٠.٦	٢

وتتراوح نسبة ما يحتويه الحديد الزهر من الكربون بين ٣.٨ - ٥.٤٪ وقد وجد أن التركيب الكيميائي الأمثل للحديد الزهر اللازم لصنع القضبان الحديدية في محول سعبه عشرون طنا ودرجة حرارة بطائنه ١٠٠٠م ودرجة حرارة الحديد الزهر بين ١٢٧٠ - ١٢٩٠م ( مقاسة بواسطة بيرومتر ضوئى دقيق وبدون أى تصحيح ) كما يلى :

س	٩-١١٪	كب	٤٥٪ على الأكثر
م	٦-٩٪	فو	٠.٦٦٪ على الأكثر

وقد وجد أنه يمكننا الحصول على أفضل النتائج فى حالة صب الصلب من أعلى اذا احتوى الحديد الزهر على ٠.٧ - ٠.٩ ٪ من السليكون ويؤدى زيادة نسبة السليكون فى الحديد الزهر المنفوخ الى ارتفاع الفاقد من الصلب كما يؤدى الى قصر عمر الودنات وحجرة الصهر بالمحول ويرجع ذلك الى تكوين مخلفات بسبب تراكم طبقات الحث السليكونى تباعا . هذا بالإضافة الى أن فترة النفخ نستغرق وقتا طويلا .

وتعمل زيادة نسبة المنجنيز فى الحديد الزهر المنفوخ ( أكثر من ٩٪ ) على خفض عمر البطانة والقاعدة والودنات .

وبارنماع نسبة أكسيد المنجنيز ( م أ ) فى الحث نزداد كثيرا درجة سيولته مما يجعله عاجزا عن تصيد المقذوفات الحديدية التى تنطلق بغزارة مختركة طبقة الحث ويتآكل القاعدة والبطالة فان الصلب الناتج يحتوى كثيرا من الشوائب غير المعدنية مما يفسد الكثير من خواصه ويحط من قيمته .

ومن الاهمية بمكان أن نعلم أن السبب بين كمية السليكون وكمية المنجنيز لا تقل أهمية عن مقاديرهما المطلقة . فقد أثبتت التجارب أنه يمكننا الوصول الى أحسن النتائج اذا كانت نسبة السليكون بالمنجنيز تقع بين ١.٨ - ٢ فاذا قلت النسبة عن ذلك نكون لدينا خبث يحتوى على كمية كبيرة من م أ نجعله ذا سيولة كبيرة وتساعد حراريات المحول على أن تبلى بسرعة ويكون الصلب الناتج منخفض الجودة .

أما اذا تعدت النسبة الحد الأقصى كان هذا سببا فى تكوين طبقات على المحول نتيجة لتكون خبث يحتوى على نسبة عالية من السليكا .

وفى كثير من الأحيان نعمل على ازالة الكبريت فى الحديد الزهر باضافة كربونات الصوديوم ( صودا آش ) فى البودقة فتتحلل كربونات

الصوديوم بواسطة الحرارة الى اكسيد الصوديوم الذى يتفاعل مع كبريتيد الحديدوز . كبريتيد المنجنيز . منتجا كبريتيد الصوديوم



الذى لا يذوب فى الحديد الزهر فتتكون طبقة من الحثت الكبيرينى نطفو على سطح الحديد الزهر فى البودقة . وهذه الطبقة من الحثت يجب كسطها بعيدا عن الخلط والمحول حتى لا ينف البطانة الحرارية وحتى لا تزيد شدة المقذوفات الحديدية اذ أن وجود أى أنار من كربونات الصوديوم بالحديد الزهر المنفوخ يساعد على انطلاق هذه المقذوفات بزيادة ولهذا كان لزاما علينا أن نزيل كل الحثت المتكون نتيجة لاضافة كربونات الصوديوم بعيدا عن المحلول كما يجب علينا أن نراقب بكل دقة أى انخفاض فى درجة الحرارة يطرأ على الحديد الزهر بسبب اضافة الكربونات ( اذ أن محللها تفاعل ماص للحرارة ) .

ولانخفاض درجة حرارة الحديد الزهر تمتد فترة النفخ طويلا عن معدلها العادى كما تزداد فرصة هروب الحديد مع الغازات المتصاعدة بشدة من المحول نتيجة لدرجة السيولة الكبيرة التى يضيفها على الحثت وجود وفرة من اكسيد الحديدوز به ولهذا السبب فانه يتحتم علينا أن نعمل بكل الوسائل على الحفاظ على درجة الحرارة التى تعطى لحديد الزهر السيولة المناسبة فى الخلط وأيضا أثناء نقله من الخلط الى المحول .

ومن المستحسن عمليا أن نذر بعض فحم الكوك الناعم على سطح الحديد الزهر فى البودقة لتغطيتها بغطاء مناسب وأن يتم نقله الى المحول بسرعة كما يجب أن تتراوح درجة حرارة الخلط من الداخل بين ١٣٠٠ - ١٣٥٠ درجة مئوية .

#### الحردة :

ينحصر الغرض الرئيسى من اضافة الحردة الى المحول فى نبريد شمحنة الحديد الزهر اذا قفزت درجة الحرارة فوق معدلها المناسب ومن الطبيعى أن نزداد كمية الحردة المضافة اذا تم النفخ بالهواء المزود بالاكسجين أو الاكسجين النقى .

ومن الأهمية بمكان فانه يجب ألا تتعدى نسبة الكبريت والفوسفور فى الحردة عن مثيلتها بالصلب المزعم انتاجه . وتضاف الحردة قبل أو أثناء النفخ .



• خام الحديد والنزواند الثانوية عن عمليات التسيكيل ( النفايات ) :

يضاف خام الحديد أو النفايات المعدنية الناتجة عن عمليات الدرفله في المحول بالشحنة وبهذا يتحقق هدفان أولهما تبريد الشحنة إذا كانت درجة حرارتها مرتفعة وثانيهما زيادة الناتج من الصلب نتيجة لاختزال الحديد والنفايات .

وبنسب في الخام المضاف أن يكون غنيا بالحديد فقيرا للكبريت والفوسفور .

التحليل الكمي لخام بسمر ( ويعطى التحليل الكمي لخام بسمر المستخرج من مناجم كريفوروج النتائج الآتية ) :

ح ٢ أ	٨٩-٩٥٪	فو	٠.٣٪
س أ	٤-٩٪	كب	٠.٢-٠.٤٪
لو ٢ أ	١-٣٪		

وتحتوى النفايات المضافة الى الشحنة على نسبة أقل من السليكا ( ٣ - ٢ ٪ ) بينما تصل نسبة الحديد فيها الى حوالى ٧٠٪ وهى نسبة أكبر من تلك التى يحتويها الخام .

#### المشتتلات والسبائك الإضافية :

يقوم الفيرومنجنيز بنزع الأكسجين من صلب بسمر الفوار والمخمد كما يقوم أيضا كل من الفبروسليكون والألومونيوم بنفس الدور وفى بعض الحالات الخاصة يستعمل السليكومنجينز وغيره من السبائك الأخرى .

وتستعمل السبائك الحديدية لنزع الأكسجين من الصلب المنخفض الكربون أما فى حالة الصلب الكربونى فتصهر أولا فى فرن الدست أو الفرن الكهربائى أو غيرها ثم تستعمل بعد ذلك .

#### الحديد الزهر المرأوى :

ويضاف الى صلب بسمر الكربونى منصهرا ليقوم بنزع الأكسجين منه ويتوقف تركيبه الكيميائى تبعاً لرتبه المختلفة فيتراوح ما به من منجنيز بين ١٠ - ٢٥٪ ، الكربون ( ٤ - ٥٪ ) ولا يزيد السليكون على ٢٪ ، ولا يتعدى ما يحتويه من فوسفور ٢٢٪ أما الكبريت فيجب أن لا يحتوى على أكثر من ٠.٣٪ .

### الفيرومنجينز :

ويستعمل لنزع الاكسجين من صلب بسمر اما صلبا أو منصهرا ومن الطبيعى أن هذا الفيرومنجينز الذى يتم صنعه فى الافران العالية - الافران اللافحة يجب أن يخضع لمواصفات معينة فيحتوى على ٧٦٪ كربونا ، ٧٠ - ٨٠٪ منجنيزا ، حوالى ٢٪ سليكونا ، ٣-٤٪ من الفوسفور كحد أقصى ( وذلك للرب . للدرجات المختلفة منه ) ولا تزيد نسبة الكبريت به عن ٠.٣٪

وفى الحالات الخاصة التى يكون المطلوب فيها انتاج صلب يحنوى على نسبة منخفضة من الكربون ونسبة عالية من المنجنيز يستخدم فيرومنجنينز لا تقل نسبة المنجنيز به عن ٨٠٪ .

### الفيروسليكون :

يستخدم الفيروسليكون لنزع الاكسجين من الصلب المخمخ ويمكن تقسيم الفيروسليكون الى ثلاث درجات بعا لما يحتويه من سليكون :

( ١ ) ٨٧ - ٩٤ ٪ .

( ٢ ) ٧٢ - ٧٨ ٪ .

( ٣ ) ٤٣ - ٥٠ ٪ والقسم الأخير هو الأكثر انتشارا فى صناعة الصلب .

وعند نزع الاكسجين من الصلب الكربونى بواسطة العوامل النازعة له وهى فى حالة الانصهار يضاف فى بعض الأحيان سبيكة الفيروسليكون الى شحنة أفران الدست أو الافران الصهارة . وهذه السبيكة تحتوى عادة على أكثر من ١٣٪ سليكونا .

### السليكومنجينز :

يفتصر استعمال هذه السبيكة على نزع الاكسجين من صلب بسمر المخمد وتكون جاهزة للاستعمال بعد صهرها فى الافران الكهربائية . ويختلف تحليلها الكمي من درجة لأخرى . فهى تحتوى على ١٤ - ٢٠٪ سليكونا وأكثر ، و ٦٠ - ٦٥٪ منجنيزا على الأقل ويجب ألا تزيد نسبة الكربون عن ١ - ٢.٥٪ اما الفوسفور ف يجب ألا تتعدى نسبته ٠.٢ - ٠.٣٪ .

### الألومنيوم الإضافي :

يضاف الى صلب بسمر المخمد لنزع ما به من أكسجين على شكل كرات صغيرة تحتوى على حوالى ٨٧ - ٩٦٪ من فلز الألومنيوم وتمثل النسبة الباقية الشوائب الموجودة بالسبيكة مثل السليكون ، والنحاس ، والزنك .

### السليكونكاليسيوم :

يندر استخدامه لنزع الأكسجين من صلب بسمر وتصل نسبة الكالسيوم فى هذه السبيكة الى ٢٣ - ٣١٪ وربما أكثر تبعا للدرجات المختلفة للسبيكة ولكن نسبة السليكون والكالسيوم معا يجب أن تكون على الأقل ٨٥ - ٩٠٪ ومن الشوائب التى توجد مندمجة مع هذه السبيكة عنصر الألومنيوم الذى قد تصل نسبته الى ١٥ - ٣٪ .

### فيروتيتانيوم :

تعتبر سبيكة الفيروتيتانيوم أفضل العوامل النازعة للأكسجين وأحيانا تضاف الى الصلب لتحسين خواصه الميكانيكية .

وتبعا لدرجة هذه السبيكة يتغير تركيبها الكيميائى فهى تحتوى على أكثر من ٢٣ - ٢٥٪ من التيتانيوم على شوائب أهمها :

الومنيوم ٥ - ٨٪ على الأكثر ، نحاس ٣ - ٤٪ وسيلكون بكميات متفاوتة ولكن نسبة السليكون الى التيتانيوم فى السبيكة تتراوح بين ١٨ ر - ٢٨ ر .

### فيروكروم :

من النادر أن يضاف الى صلب بسمر سبيكة الفيروكروم ولكنه يحتوى على عنصر الكروم لغاية ٢٥٪ ويستخدم فى صنع ألواح الصلب الرقيقة . وقد يضاف اليه جزء من سبيكة الفيروكروم حتى يصل الكروم بـ الى ٦ ر - ٨ ر٠٪ .

وفى الاتحاد السوفيتى تقسم سبائك الفيروكروم الى عشرة رتب عيارية استنادا الى نسبة ما تحتويه من كربون وتقع هذه النسبة بين ٠,٦ ر - ٨,٠٪ ويشترط ألا تقل نسبة الكروم بالسبيكة عن ٦٠ - ٦٥٪ كما يجب ألا تزيد نسبة السليكون فى لسبيكة من جميع الرتب عن ١,٥ ر - ٣,٥٪ .

### ٣ - فترات النفخ المختلفة والتفاعلات

التي تحدث في المحول بسهم

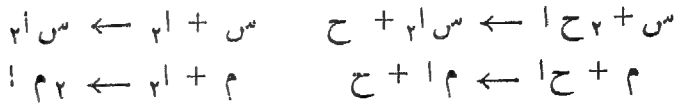
#### الفترة الاولى :

فى أول الامر يساثر عنصر الحديد بكل الأكسجين الموجود بهواء النفخ والداخل بالمحول خلال الفونيات الموجوده بالقاعدة ومخترقا ودنات الهواء ويتأكسد مكونا اكسيد الحديدوز كما فى المعادلة الآتية :



وبمجرد تكوين اكسيد الحديدوز يصبح المصدر الرئيسى لتمويل الأكسجين بشدة فيتأكسد السليكون وبدرجة أقل يتأكسد عنصر المنجنيز الى ثانى اكسيد السليكون ، وأكسيد المنجنيز على الترتيب .

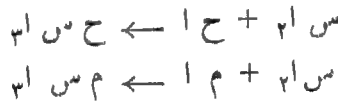
ولكن جزءا صغيرا من السليكون وبدرجة أقل يتأكسد عنصر المنجنيز يتمكن من التأكسد مباشرة بواسطة الأكسجين الموجود بهواء النفخ - تبعا للتفاعلات الآتية : -



وفى خلال هذه الفترة يحترق الكربون ببطء شديد مكونا أول اكسيد الكربون ، الذى يحترق جزئيا داخل المحول .

وتحتوى الغازات المتصاعدة خلال هذه الفترة ( اذا كان النفخ بالهواء فقط ) على ٨٥ - ٩٠ ٪ نروجينا أما أول اكسيد الكربون فيكاد يكون منعدما ولهذا فان شعلة اللهب التى تظهر عند فوهة المحول تكون قصيرة وضعيفة الاضاءة .

وتتحد السليكا مع اكسيد الحديدوز وأكسيد المنجنيز لتكون سليكات الحديد والمنجنيز على الترتيب :



وبجانب السليكا المتكونة نتيجة لتأكسد عنصر السليكون الموجود بالحديد الزهر فان بطانة المحول تقدم جزءا منداعيا منها ليشترك فى تكوين الخبث الذى يحتوى خلال هذه الفترة على حوالى ٥٠ ٪ منه سليكا ،

١٥ - ٢٠ ٪ أكسيد حديدوز ويتكون هذا الخبث أثناء الفترة الاولى من فترات النفخ فى محول بسمر .

وتستغرق هذه الفترة وقتا يتوقف أساسا على درجة حرارة «شحنة» الحديد الزهر الداخلة بالمحول وبارتفاع درجة حرارة الشحنة تقل هذه الفترة وليس هذا مقياسا مطلقا فاذا ما وصلت درجة الحرارة الى درجة انتسخين المفرط أصبح الكلام عن سلوك الحديد الزهر فى هذه الفترة دربا من التكهّنات ولا يمكننا الجزم بنتائجه .

### الفترة الثانية :

بتأكسد كل من السليكون والمنجنيز ترتفع درجة حرارة شحنة الحديد داخل المحول وعندئذ يبدأ الكربون فى التأكسد بشدة وصحب ويتأكسد الكربون اساسا فى محول بسمر تبعا للتفاعل الآتى وبصحب هذا التفاعل امتصاص كمية من الحرارة :



ويتأكسد جزء ضئيل من الكربون مباشرة كما يلى :



وتبعا للتفاعلات السابقة ترتفع نسبة أول أكسيد الكربون فى الغازات المنبعثة من المحول الى ٣٠ ٪ وعند فوهة المحول يحترق أول أكسيد الكربون بواسطة اكسجين الهواء الجوى محدثا شعلة رهيبة من اللهب ذات ضوء ساطع يمتد طولها قرابة ٥ - ٦ أمتار .

ويستبد الكربون وحده بالفترة الثانية من فترات النفخ ومستغلا جزءا كبيرا من أكسيد الحديدوز للحصول على الأكسجين اللازم لأكسدة ما يؤدى الى انخفاض كمية أكسيد الحديدوز فى الخبث . وبتداعى بطانة المحول وتاكلها ترتفع كثيرا نسبة السليكا فى الخبث كذلك فان ارتفاع درجة الحرارة يعمل على زيادة كمية السليكا أيضا .

والنسب الآتية قرين كل مركب توضح التركيب الكيميائى النمطى

للخبث : - أثناء الفترة الثانية .

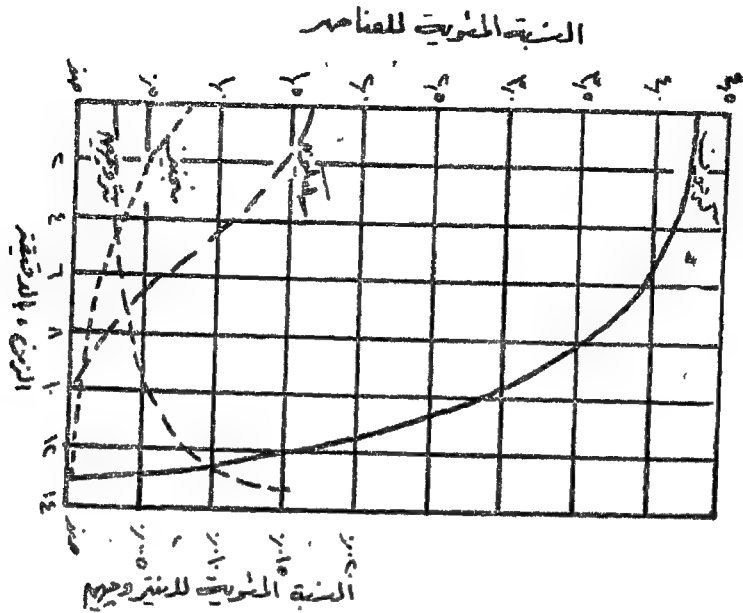
س ا ٢	٦٥١	ح ٢ أم	٤٦٦
لو ٢ ٣أ	١٧٤	ح	١٢٦١
كا ٢	١٨	م ا	١٤٢ ٢
ح ا	١٢٠٠	فو ا	٠٤ ٨

وفى هذه الفترة أيضا يستمر تأكسد كل من السليكون والمنجنيز ولكن بمعدل منخفض للغاية عن الفترة الاولى .

### الفترة الثالثة :

وهى آخر فترات النفخ فى محولات بسمر وتظهر هذه الفترة فى حالة انخفاض نسبة الكربون وتبدأ هذه الفترة بانخفاض مفاجئ فى معدل تأكسد الكربون الى أول اكسيد الكربون ويظهر جليا فى انكماش طول شعلة اللهب وتنبعث أبخرة بنية كثيفة من فوهة معلنة عن تأكسد الحديد بشدة ولا تمتد هذه الفترة لأكثر من ثوان قليلة .

وللحصول على صلب متوسط الكربون يمكننا انهاء عملية النفخ أثناء الفترة الثانية عندما تصل نسبة الكربون بالصلب النسبة المطلوبة .



شكل (١٤) : التفريغ الكيميائية التى تطرا على المعدن المنصهر فى محول بسمر سعتة ٢٥ طن .

#### ٤ - تغيير التركيب الكيميائي لكل من الصلب والخبث اثناء عملية النفخ

يوضح شكل (١٥) التغيير فى التركيب الكيميائي للحديد والخبث وكذلك التغيير فى درجات الحرارة طوال فترة النفخ .

وكمثال على اليك البيانات الاحصائية لسير عملية النفخ لشحنة من الحديد الزهر :

وزن الشحنة ١٩٥ طن

التحليل الكمي للشحنة %	فو	كب	س	م	ك
٠.٦	٠.٣٦	١.٥٨	٨.٢	٤.١	

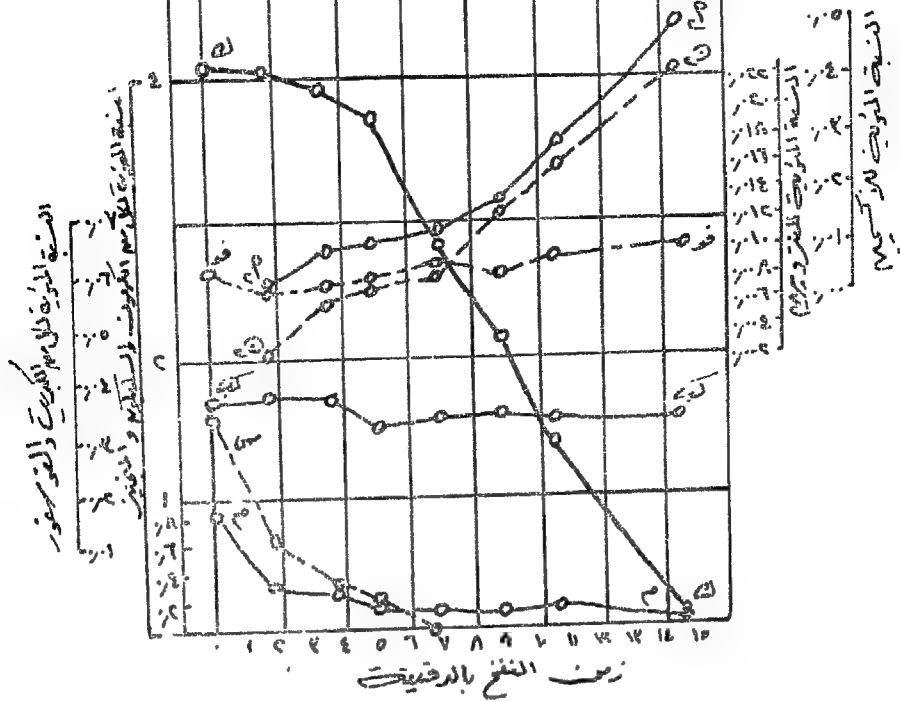
درجة حرارة الحديد الزهر ١٢٥٠ درجة مئوية

الارتفاع فى درجة الحرارة نتيجة عمليات الأكسدة ٣٦٠ درجة م .

( عادة يكون الارتفاع فى درجة الحرارة بين ٣٥٠ - ٥٠٠ درجة م تبعا للتركيب الكيميائي للحديد الزهر وكمية الإضافات السبائكية والمبردة وظروف تشغيل النفخ وتصميم قاعدة المحول ) .

وبشبوت العوامل الاخرى فان عددا قليلا من الفتحات ذات الاقطار الكبيرة ( القاعدة من الطوب ) تهبط ارتفاعا كبيرا فى درجة الحرارة عن العدد الكبير من الفتحات التى توجد فى القواعد التى تصنع دكا . ويعزى الارتفاع الطفيف فى درجة حرارة المعدن خلال الفترة الثانية الى التفاعلات الماصة للحرارة التى تصاحب تأكسده الكربون بواسطة أكاسيد الحديد .

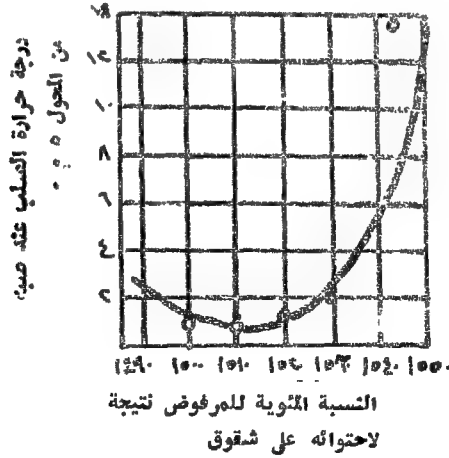
ومما هو جدير بالذكر أن مقدار السليكون المتخلف من عمليات الأكسدة أى المتبقى بالصلب يتخذ مقياسا صحيحا لدرجة حرارة الصلب فاذا كانت درجة الحرارة عالية وصلت نسبة السليكون بالصلب الى حوالى ١٥٪ بينما تصل هذه النسبة الى حوالى ٠.٣ - ٠.٥٪ عند درجات



شكل (١٥) : التغيرات التي تطرأ على التركيب الكيميائي لكل من الصلب والخشب أثناء نفخ شحنة الحديد الزهر .



الحرارة المعتادة • ويوضح شكل (١٦) بيانيا العلاقة بين كتلة من الصلب الفوار ودرجة الحرارة التي عندها يصب الصلب من المحول • ونزداد المقذوفات الحديدية عند درجة حرارة ١٥٤٠ درجة م - ١٥٥٠ درجة م ( مقيسة بواسطة بيرومتر ضوئي بدون أى تصحيح ) ويمكن تفسير ذلك بارتفاع نسبة السليكون المخلف في الصاب اذ تبلغ نسبته ٠.٦ - ٠.١٪ نظرا لارتفاع درجة حرارة الصلب اثناء سير العملية •



شكل (١٦) رسم بياني يوضح العلاقة بين نسبة المفوض من الصلب نتيجة لاحتوائه على شقوق ودرجة حرارة الصلب عند صبه من المحول •

وطوال عملية النفخ تزداد نسبة ما يحتويه الصلب من نتروجين وفي اثناء المرحلة الاولى من مراحل النفخ حيث تكون نسبة الكربون عالية يكون معدل تأكسده منخفضا وتكون درجة الحرارة هي الأخرى مازالت منخفضة فان ذوبان النتروجين في الصلب يكون في حدود ٠.٢ ر - ٠.٨ ٪ •

وبارتفاع درجة الحرارة تنخفض نسبة الكربون في الصلب بينما تأخذ نسبة النتروجين في الارتفاع حتى تصل الى ٠.٢٣ ٪ في نهاية العملية •

وتتوقف كمية النتروجين الذائب بصلب بسممر على عدة عوامل أهمها :

- (أ) كمية الكربون في الصلب ومعدل تأكسده •
- (ب) درجة حرارة الشحنة •

(ج) ارتفاع المعدن فوق ودنات النفخ •

(د) ظروف تشغيل النفخ ( ضغط الهواء المنفوخ وطبيعة النفخ ) •

ويساعد كثيرا انخفاض نسبة الكربون بالصلب على ذوبان نسبة أكبر من النتروجين فيه في حين أن ارتفاع معدل تأكسد الكربون وبالتالي تصاعد فقاعات أول أكسيد الكربون المتكون بشدة يعمل على طرد كمية أكبر من النتروجين المذاب •

ومن الطبيعي أن ارتفاع درجة الحرارة من شأنه أن يزيد من سيولة المعدن الامر الذي ينجم عنه تجزئ المعدن الى قطرات صغيرة فتزداد المساحة المتعرضة لهواء النفخ وتكون الفرص متاحة لامتصاص كمية أكبر من النتروجين •

ولقد أثبتت التجارب العملية أنه بارتفاع طبقة المعدن داخل المحول يزداد ما يحتويه الصلب من نتروجين بفرض ثبوت العوامل الأخرى ، ويرجع هذا الى طول عمود الهواء المخترق لطبقة المعدن مما يجعل فرصة التلامس أكبر •

وبزيادة ضغط الهواء تتسع منطقة تلامس المعدن بالهواء مما يؤدي الى امتصاص كمية أكبر من النتروجين رغما عن قصر مدة النفخ • وبتزويد الهواء المنفوخ بالاكسجين النقي ينخفض الضغط الجزئي للنتروجين فيقل معدل امتصاصه في الصلب كما أن زيادة الضغط الجزئي للاكسجين يزيد من معدل أكسدة الكربون محدثا فورانا يساعد على طرد النتروجين من الصلب • وبانتهاء أكسدة الكربون يأخذ تركيز الاكسجين بالصلب في الزيادة وبتثبت العوامل الأخرى فان درجة تأكسد المعدن تتحدد سلفا بنسبة ما يحتويه من كربون مع اعتبار عوامل التشغيل في الدرجة الثانية ، هذا وتتحكم فتحات الهواء بحجمها الفعلي لكل طن من الشحنة في مقدار ما يفقده المعدن نتيجة لأكسدته كما تتحكم أيضا في درجة الأكسدة فتزداد كلما كبر حجم هذه الفتحات •

وعندما يحتوي الصلب على حوالى ٠.٥٪ كربونا تتراوح نسبة الاكسجين به بين ٠.٤٧ - ١.٠١٪ وكقاعدة فانه يكون في المتوسط حوالى ٠.٦٧٪ واذا كانت نسبة الكربون من ١ - ١.٣٪ كانت نسبة الاكسجين الذائب ٠.٣٥ - ٠.٨٢٪ وعادة تكون ٠.٤٩٪ •

وتبلغ نسبة الاكسجين بصلب « القضبان » ٠.٠٩ - ٠.٢١٪ اذا احتوى على ٥ - ٦.٥٪ كربونا وعادة تكون نسبة الاكسجين به ٠.١٦٪ ( هذا اذا توقف النفخ عند نسبة عالية من الكربون ) •

وترتبط كمية الاكسجين الذائبة بالصلب بمقدار وطبيعة الشوائب غير المعدنية الموجودة به وفي صلب بسمر الفوار تصل نسبة هذه الشوائب غير المعدنية والموجودة كأكسيد الى حوالى ٠.١٦٦ ر - ٠.٤١٦٪ من وزن المعدن بينما لا تتعدى هذه النسبة ٠.١ ر - ٠.٢٥٪ فى الصلب المصنوع بواسطة الأفران المفتوحة ( سيمنز مارتن ) حيث تنخفض كمية المعدن المتأكسد ( والتغير فى المكونات الأساسية للخبث أثناء عملية النفخ ( ممثلة بيانيا فى شكل ١٥ ) ، حيث يحتوى الخبث على ١.٣ - ١.٨٢٪ من أكسيد الألومونيوم ، ١.٢٦ - ٢.٩٢٪ أكسيد الكالسيوم ، ٣ - ١.٠٥٪ أكسيد ماغنسيوم .

أجريت عدة تجارب على شحنة من حديد زهر ذى تركيب كيميائى مجدد وفى ظروف معينة بإضافات محسوبة لتنتج فى النهاية كتلا من الصلب ذات جودة عالية وقد وجد أن القصور الحرارى للحديد الزهر ينسب فى تخفيض درجة حرارة الصلب الناتج ، ومثل هذا القصور يكون نتيجة اما لانخفاض كمية السليكون والمنجنيز بالحديد الزهر واما لانخفاض درجة حرارة شحنة الحديد الزهر الداخلة فى المحول وبرودته من الداخل أو الكلا هذين السببين . وبإضافة كمية السليكون أثناء الفترة النائية من فترات النفخ فى صورة سبيكة الفيروسليكون التى تحتوى على حوالى ٤٥٪ من السليكون الى الشحنة يمكننا ليس فقط تعويض مثل هذا القصور الحرارى بل ورفع درجة حرارة الصلب الناتج .

وتتولد هذه الحرارة من أكسدة كمية السليكون المضافة الى الشحنة وإذا كان هذا القصور الحرارى نتيجة للبرودة النسبية لدرجة حرارة شحنة الحديد الزهر الذى يحتوى على كمية كافية من السليكون أو نتيجة لانخفاض درجة حرارة المحول الداخلية فان نفخ المحول وهو فى وضع مائل لمدة دقيقتين أو ثلاث يكون كافيا لرفع درجة حرارة الشحنة بطيئا مما يزيد من تأكسد الحديد .

وبإمالة المحول يصبح عدد فتحات الهواء المستخدمة فعلا أقل من عددها الحقيقى ولا يغطى الحديد الزهر جميع الفتحات الموجودة الامر الذى يؤدى الى تأكسد السليكون ببطء فيزداد الفاقد من الحديد وبالتأكسد ويكون نتيجة لها ارتفاع درجة حرارة الشحنة .

وبعد ذلك يثبت المحول فى وضع رأسى مع استمرار النفخ فيرتفع معدل تأكسد السليكون وفى النهاية يكون الارتفاع فى درجة الحرارة

كنتيجة حتمية لهذا الاجراء أمرا مؤكدا • والارتفاع الحرارى يكون نتيجة  
النفخ الحديد الزهر الغنى بالسليكون وهو عند درجة عالية من الحرارة •

وفى بعض الاحيان تتم صناعة الصلب بمثل هذه الحالة من الفيض  
الحرارى حيث يستغل فى صهر وتصنيع كمية مناسبة من الخردة •  
وعمليا تطبق مثل هذه الطريقة فى المصانع النى نفتقر الى الافران المفتوحة  
حيث يستفاد بتصنيع الاكوام المكسدة من الخردة •

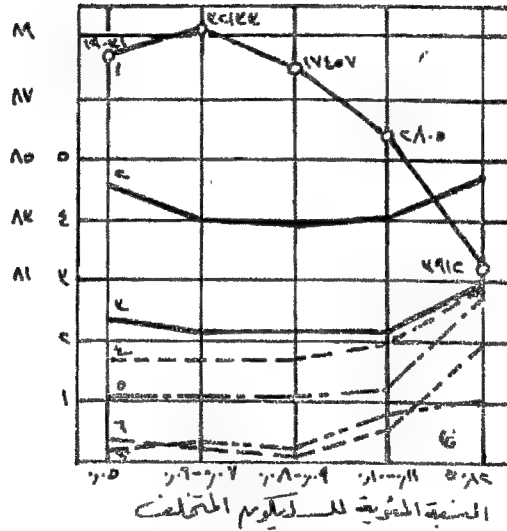
واذا تم النفخ عند زيادة من الحرارة كان الصلب الناتج أقل جودة  
واحتوى على كمية أكبر من السليكون المتخلف وارتفع معدل تأكسده  
ودرجة تشبعه بالغازات ( اذ أن ارتفاع كل من الحرارة والسليكون  
بالحديد الزهر يزيد من فرصة ذوبان الغازات فى الصلب المنصهر ) •

وعند صب الصلب الفوار وهو فى درجة الحرارة العالية فان الكتل  
الناتجة يحدث لها فوران ويزداد حجمها ويتكون ما يشبه خلايا النحل  
التي تنظم قرب سطح المعدن • ولقد أوضحت التجارب أنه اذا احتوى  
الصلب على ٠٩ ر - ١٪ من السليكون المتخلف فى صلب القضبان  
( عندما يتوقف النفخ عند نسبة الكربون المطلوبة ) تنخفض جودة الصلب  
وقد يرفض لكثرة ما به من عيوب واضحة وتصدمات خطيرة وزيادة فى  
القصفة •

ويمكن تدارك هذا الارتفاع فى درجة الحرارة باضافة كمية من  
الخردة فى المحول وهو فى وضع رأسى قبل أو أثناء عملية النفخ ، وتعتمد  
كمية الخردة المضافة على طريقة التشغيل •

وقد أوضحت التجارب أنه باضافة ١٠٪ من قصاصات الدرفلة  
( نفايات الدرفلة ) تنخفض درجة الحرارة حوالى ١٠٠ - ١٢٠ درجة م •

ومن الأهمية بمكان أن نذكر الدور الكبير الذى يقوم به خام الحديد  
فى تنظيم درجة الحرارة فنظرا لقدرته الكبيرة على التبريد فهو يفوق  
الخردة فى هذا الصدد ولا تعجب أن كيلو جراما واحدا منه يحل محل  
٤ - ٥ كيلو جراما من الخردة • ويجب اضافة خام الحديد فى المحول  
قبل شحنه بالحديد الزهر حتى يختزل الحديد بواسطة السليكون  
والمنجنيز أثناء الفترة الأولى وليس بالكربون •



شكل (١٧) : يبين جودة صلب القضبان المصنوع في محول بـسمر مدبرة بنسبة السيليكون المتخلف الذي يحتويه الصلب

- |   |                      |
|---|----------------------|
| ١ - درجة أول                            | ٢ - التسففات الدقيقة |
| ٣ - مواضع الأكسيد                       | ٤ - الرهل المحجوز    |
| ٥ - العيوب التي لصلب البين الميكروسكوبى | ٦ - القصفة           |
| ٧ - التسفوق ( الصدوق )                  |                      |

وإذا أضيف خام الحديد أثناء المرحلة النائية فان ذلك يؤدي الى اخنزال الحديد بواسطة الكربون مكونا أول اكسيد الكربون مما يساعد المقذوفات المعدنية على الهروب خارج المحول حاملة معها بعض الخام المضاف .

ومن مزايا اضافة خام الحديد والنفائات المعدنية الى شحنة الحديد الزهر تقديم كمية لا بأس منها من الأكسجين اللازم للتفاعلات الكيميائية المختلفة فتتم بسهولة وفى وقت أقصر كما أن اخنزال خام الحديد يزيد من ناتج الصلب المنصهر .

ومن الطرق المستخدمة لامتصاص الزائدة اضافة نسبة من بخار الماء الى الهواء الداخلى الى المحول فتستهلك كمية كبيرة من الحرارة فى تحليل الماء الى عتصره وتعتبر هذه الطريقة ذات فاعلية الى حد بعيد الا أنها غير اقتصادية ولهذا فهى بعيدة عن المنطق اذ أن الحرارة الزائدة

فى هذه الحالة تضعىع هباء فى حىن أنه ىمكن استغلاؤها فى اختزال كىمة من خام الحديد أو لصهر كىمة من الخردة •

هذا بالاضافة الى امتصاص جزء كىبر من الهىدروجىن ( المنشق عن الماء ) المتولد فتىجة لتحلل الماء مما يحط من جودة الصلب • وقد ىؤدى الى حدوث تشققات ذات تأىير خطىر فى القضبان المصنوعة من هذا الصلب •

#### ٥ - الطرىقة الحديثة لصناعة الصلب

تتحسن كثرىا خواص الصلب المختلفة اذا نجحنا فى خفض نسبة النتروجىن والفوسفور به وىمكننا العمل على الاقلال من النتروجىن الذائىب بالصلب ( متوسط الكربون ) بطرق مختلفة منها : اىفاف نفخ الهواء عندما فصل الى نسبة الكربون المطلوبة ، واستعمال النفخ الجانبى ، وخفض الضغط الجزئى للنتروجىن فى الهواء المنفوخ بتزوىده بالاكسىجىن النقى •

#### اىفاف نفخ الهواء عند الوصول الى نسبة الكربون المطلوبة :

ىصنع الصلب الكربونى فى محولات بسمر اما بنفخ الحديد الزهرى بالهواء حتى تخبو شعله اللهب نهائىا ( وفى هذه الحالة تصل نسبة الكربون بالصلب الى حوالى ٠.٠٥ ٪ ) ثم ىتبع ذلك عملية الكربنة أو بوقف ندفق الهواء الى المحول عندما تكون نسبة الكربون بالصلب هى النسبة المنشودة ، والطرىقة الأخيرة تسمى بعدم تعرض كثرى من الحديد المتأكسد كما أن الصلب الناتج ىكون ملىا على كىمة من النتروجىن أقل من الصلب الذى تعرض لعملية الكربنة •• وقد عرفت هذه الطرىقة منذ زمن طویل ولكن لم تنتشر ولم تحظ بالانتشار الواسع الا بعد أن تم اعداد الأجهزة اللازمة التى جعلت فى الاستطاعة معرفة نسبة الكربون فى الصلب فى فترة وجيزة لا تتجاوز دقىقة ونصف وذلك بواسطة اخذ عىنات من المحول اثناء عملية النفخ •

ثم تؤخذ عىنة من الصلب لتحديد نسبة الكربون فاذا كانت أكبر من النسبة المطلوبة كان استمرار النفخ أمرا مستلزما •

وىمكن التحكم فى النفخ بواسطة الزمن وظهور اللهب الخارج من المحول حتى يصل نسبة الكربون الى ٠.٦ - ١ ٪ بعد ذلك تؤخذ عىنة من

المعدن لتحديد نسبة الكربون وإذا زادت نسبة الكربون عن القيمة الفعلية  
تضاف بعض المصهرات الشديدة •

ويمكن تحديد معدل أكسدة الكربون تحت ظروف النفخ المحددة  
معمليا ويمكن تسجيله في جدول •

ويعطى جدول (٢) المعدلات المطلوبة للنفخ الزائد لصبة وزن ١٨٥  
طن عند نسبة ٠.٥٪ كربون وتغذية هواء بمعدل ٣٥٠ متر مكعب لكل  
دقيقة •

( جدول ٢ )

مدة النفخ الزائد بالدقيقة/والثانية	محتوى الكربون في العينة %
٤٠ - ١	١٢
٢٦ - ١	١١
١١ - ١	١٠
١٧ - ٠	٠.٩
٤٣ - ٠	٠.٨
٢٩ - ٠	٠.٧
١٤ - ٠	٠.٦

وتتراوح نسبة النيتروجين في صلب القضبان الكربوني من ٠.١٦ إلى ٠.٢٢٪ وعندما تتوقف العملية عند نسبة كربون ٠.٥ - ٠.٦٪  
فإن كمية النيتروجين تتراوح بين ٠.١٢ - ٠.١٨٪ ويزداد عائد  
الصلب جيد الانصهار إلى ١٥ - ٢٠٪ نتيجة انخفاض فاقد صهر  
الحديد ويمكن أن تتحسن الخواص الميكانيكية للقضبان •

#### النفخ الجانبي :

ترجع الجودة المنخفضة لصلب بسمر المنفوخ من القاع إلى زيادة  
كمية النيتروجين والمكونات غير الحديدية المتواجدة فيه ، وفي حالة  
النفخ الجانبي أو عندما تكون الودنات مغمورة قليلا في المعدن تزداد  
مساحة التلامس المباشر بين الهواء والمعدن بمعدل بطيء مما يساعد على  
احتزال نسبة النيتروجين في الصلب إلى ٠.٠٣ - ٠.٠٨٪ بدلا من

٠.١٥ - ٠.٢٢٪ فى طريقة النفخ من أسفل ويمكن تحسين الخواص الميكانيكية للصلب لتصبح مشابهة لمثيلتها فى الافران المفتوحة .

وتنتج الافران الجانبية معدنا ذو درجة حرارة عالية من عملية النفخ من أسفل ويمكن أن يعزى ذلك الى الاحتراف السفلى لأول اكسيد الكربون « ك أ » الى « ك أ ٢ » على السطح عند تصاعده وينتج التسخين الشديد للمعدن زيادة اضافات الخردة والخام عن طريق زيادة العائد من الصلب المنصهر وتساعد الحرارة الفائضة كذلك على نفخ الحديد الزهر المحتوى على نسبة صغيرة من السليكون .

ومن الممكن أيضا صهر سبيكة الصلب لأن الاضافات السبائكية تذاب بسهولة بدون تبرير المعدن الى الحد الذى يصهر بالصب العادى وتتبع الاحتياطات التالية فى عملية النفخ الجانبى لمحول بسم ٢٠ طنا المستخدم فى صهر الصلب المطاوع وصلب القضبان :

١ - أن تتراوح نسبة النيتروجين فى معدن القضبان بين ٠.٠٦ - ٠.٠٩٪ وفى الصلب الفوار من ٠.٠٥ - ٠.٠٨٪ ( مع النفخ من أسفل تكون النسبة حوالى ٠.١٨ - ٠.٢٦٪ ) .

٢ - أن تتراوح نسبة الاكسجين فى الصلب المنفوخ من أسفل بين ٠.٢٧٣ - ٠.٤٢٠٪ وفى الصلب المنفوخ من اسفل بين ٠.٢٧٣ - ٠.٤٢٠٪ وفى الصلب المنفوخ بالطريقة الجانبية من ٠.١٨ - ٠.٣٠٦٪ .

٣ - عندما يحتوى الحديد الزهر على ١.٢٧ - ١.٥٦٪ سيلكون ، ٠.٧٩ - ٠.٨٠٪ منجنيز ويتم نفخه بالطريقة الجانبية لانتاج صلب طرى فان تركيب الخبث قبل عملية الاكسدة يكون كالاتى % : -

س ا	٥٥٧٠	مغ أ	٠.٢٥
لو ب	١٩٥	م أ	١٤٩٩
كا	٠.٤٩	ح أ	٢٧١٧

وفى طريقة النفخ من أسفل :

فان محتوى « ح أ » فى الخبث يتراوح بين ١٥ - ١٧٪ وفى طريقة النفخ الجانبى فان الخبث يكون أكثر سيولة .

٤ - فى طريقة النفخ الجانبى تتراوح النسبة الكلية للعناصر غير الحديدية فى صلب القضبان بين ٠.٣١٢ - ٠.٣٩١٪ ( متوسط



١١٨٥٪) ومن ثم يجب أن يؤخذ فى الاعتبار ان سيولة الصلب تكون عالية مع النفخ الجانبى عنها فى طريقة النفخ السفلى .

٥ - أن تبلىخ متوسط قوة التصادم لمعدن القضبان فى مقطع العينة عند درجة حرارة الغرفة ١٢٨ كجم/سم مربع فى حالة النفخ الجانبى ، ٩٩٠ كجم / سم<sup>٢</sup> فى حالة النفخ السفلى ٠٠ أما عند درجة حرارة ٦٠ - صفر درجة م فتكون تقريبا ٧٢٠ - ١٠٣ كجم / سم<sup>٢</sup> ، ٥٢٠ - ٦٢٠ كم / سم<sup>٢</sup> على التوالي كما نزيد كذلك مقاومة التصادم فى طريقة النفخ الجانبى للصلب الفوار سواء قبل الازمان أو بعده .

٦ - نداد فترة النفخ من ١٣ - ١٥ الى ١٧ - ٢٧ دقيقة .

٧ - عمر بطانة المحولات والودنات قصير .

وفى الولايات المتحدة الأمريكية يستخدم محولان بسعة من ٦ - ٧ طن لانتاج كمية من الحرارة على سطح المصهور عندما يكون وضع الودنات فى مستوى حمام ( مغطس ) المعدن أو أعلى قليلا وفى هذه الحالة يدخل هواء النفخ تحت منسوب المعدن أى تكون الودنات مغمورة وأيضا عندما تكون الطريقتان مركبتين مع بعضهما وتبلىخ نسبة النتروجين فى الطبقة السطحية للنفخ ٠٠٣٪ وداخل طبقة المعدن ٠٠٧٪ ، وفى الطريقة المركبة ٠٠٦٪ .

ويوضح جدول (٣) تركيب الخبث :

جدول (٣)

محتوى المكونات٪				المصهور
ح ١	ح ٢	س أ	أ ٢	
٣٨١٨	٣٤٣	٤٩١٠	٣١٨	السطح
٢٨٧٣	١٥٠	٥٨٥٠	٢٣٤	اسفل طبقة المعدن
١٦٢٢	٢٩١	٦٧٦١	٢١٢	القاع

ومن التركيب الكيماى للخبث يتضح مباشرة أن الخبث الناتج من طريقة النفخ السطحى هو الذى يتمتع بأكبر درجة من السيولة ولهذا فقد أصبح من العسير فصله عن الصلب .

وقد يطول عمر بطانة المحول إذا كانت مصنوعة من الميكا فلا تتغير .

الا بعد أن تؤدي ٦٦ صبة ويستمر النفخ من ١٠ - ٢/دقيقة حتى يتم صنع ضبة وزنها ٢٢ طنا .

وتنحصر مميزات طريقة النفخ الجانبى فيما يلى :-

١ - ارتفاع درجة الحرارة داخل المحول أثناء التشغيل مما يتيح لنا نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من السليكون كما يمكننا من اضافة كمية اكبر من الخردة وخام الحديد فتزداد تبعا لذلك الكفاءة الانتاجية للمصلب الناتج .

٢ - تنخفض كثيرا نسبة النتروجين فى الصلب الناتج وقد تصل فى كثير من الأحيان الى النسبة التى يحتويها صلب الافران المفتوحة .

٣ - تقل كمية الشوائب غير المعدنية المحتواة فى الصلب الناتج .

٤ - يضارع الصلب الناتج فى خواصه الميكانيكية صلب الافران المفتوحة .

ولولا ارتفاع درجة أكسدة الخبث وتداعى البطانة بعد أمد قصير لفاقت هذه الطريقة غيرها من الطرق بدون استثناء وارتقت عرش المثالية وأصبحت نموذجا تتضاءل بجانبه جميع الطرق المعروضة .

#### تزويد هواء النفخ بالأكسجين النقى :

ينفخ الحديد الزهر بخليط من الهواء والأكسجين لنتمكن من رفع السعة الانتاجية للمحول ، وخفض نسبة النتروجين بالصلب ولامكانية الاستفادة بكمية أكبر من الخردة عن الطريقة العادية باستعمال الهواء فقط فى النفخ .

ولم تأخذ طريقة النفخ السفلى بالأكسجين النقى طريقها فى الانتشار على الصعيد العالمى نظرا لقصر عمر أداء الحرارية المستعملة فى المحول ، وقد انضحت هذه الظاهرة بما لا يدع مجالا للشك أثناء الاختبارات التجريبية التى أجريت فى الاتحاد السوفيتى وفى غيره من البلدان الصناعية الأخرى .

وبالقاء نظرة فاحصة على الحالة الحرارية لشحنة الحديد الزهر نجد أنه باستعمال الهواء فقط فى النفخ فإن جزءا كبيرا من الحرارة يفقد بواسطة النتروجين الذى يتصاعد من المحول وفى درجة حرارة الشحنة تقريبا . وكما هو معروف لنا يمثل النتروجين  $^{35}$  حجم الهواء الداخلى ولهذا يصل الفاقد من الحرارة أكثر من ٢٥٪ من كمية الحرارة الكلية

وعليه كان لزاما علينا أن يكون الحديد الزهر غنيا بالسليكون حتى  
نتمكن من تعويض الحرارة المفقودة •

ولقد وجد أنه اذا كانت نسبة الاكسجين بهواء النفخ ٣٠٪ أمكن  
صهر ٩ ركجم من الخرقة لكل متر مكعب من النتروجين المرفوع من هواء  
النفخ ، فبالنفخ المعتاد تصل كمية الخرقة المضافة الى ٨٪ طنا لكل من  
الحديد الزهر المنفوخ •

فاذا احتوى هواء النفخ على ٣٠ - ٣٥٪ منه أكسجيناً زيدت هذه  
الكمية الى ٣٥٪ طنا كما أنه في هذه الحالة نتمكن من نفخ الحديد الزهر  
الذى لا يزيد نسبة ما به من السليكون عن ٠.٥ ٪ •

ويتناسب الانخفاض الزمنى فى فترة النفخ مع نسبة الاكسجين  
الموجودة بالهواء المنفوخ ، وجدول (٤) يعطينا فكرة عن هذا التناسب  
باجراء تجارب لنسب مختلفة من الاكسجين على شحنة من الحديد الزهر  
وزنها ٢٢٥ طنا •

#### جدول (٤)

نسبة الاكسجين فى هواء النفخ (٪)	مدة النفخ - ( دقيقة )
٢١ هواء عادى	١٣ر٢٣
٢٥	١١ر١١
٣٠	٩ر٢٦
٣٥	٧ر٩٣
٤٠	٦ر٩٤
٤٥	٦ر١٩
٥٠	٥ر٥٦

ولقد تحققت النتائج الآتية بالتجارب العملية وأصبحت حقيقة  
لا يدانيها أى شك :

١ - ظلت درجة حرارة الشحنة فى حدود المعتاد باضافة ١٢٪ من  
الخرقة •

٢ - ارتفعت السعة الانتاجية للمحول فأصبحت ٤ صبات فى الساعة  
بدلا من ثلاث •

صناعة الصلب - ٦٥

٣ - زادت الكفاءة الانتاجية للصلب الجيد بمقدار ١٪ .

٤ - تحسنت خواص الصلب الناتج لانخفاض نسبة النتروجين به .

٥ - أصبح من المستطاع نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من السلكون .

#### ٦ - ازالة الفوسفور من الصلب :

يزال الفوسفور من صلب بسمر باضافة خليط من أكسيد الكالسيوم ( ٥٠ جزءا ) ونفايات التشكيل ( ٣٠ جزءا ) والفلوريت ( ٢٠ جزءا ) .  
ويضاف هذا الخليط بعد طحنه وهو فى الحالة اثناء صب المعدن فى المحول بواقع ٣٠ كجم لكل طن من الصلب الناتج .  
ويكون من جراء هذا حدوث تفاعلات سديدة فى البودقة التى تحوى الصلب الناتج ونتيجة لهذه التفاعلات تصل نسبة الفوسفور المزال الى ٥٠ - ٨٠٪ من الكمية الكلية بالصلب .

ويزن الخبت الناتج ٣٪ من وزن المعدن . ومن الضرورى أن تكون سعة البودقة كافية حتى نتلافى فيضان الخبت خارج البودقة نتيجة لعنف التفاعلات التى تحدث داخلها ويعطى التحليل الكمي للتركيب الكيميائى للخبت النسب الآتية :

٣١٢ لو	٤٥ كا
١٠ - ٨ م	١٤ - ١٠ ح
٦ - ٤ فو	٢٥ - ١٥ س

ويمكننا أيضا معالجة خبت محولات بسمر بخبت الحديد الجبرى وهو فى الحالة السائلة .

وبالرغم من النتائج الطيبة التى توصلنا اليها بهذه الطريقة الا انها لم تعمم وتستخدم على الصعيد الدولى نظرا لانها تتطلب وحدة مستقلة لصهر الخبت كما أن الدورة الانتاجية لهذه الطريقة معقدة الى حد بعيد .

#### ٧ - نزع الأكسجين من الصلب

##### كربنة الصلب

يتم عمليا نزع الأكسجين والكربنة قبل عملية النفخ مباشرة والغرض من هاتين العمليتين كما هو واضح من تسميتهما سحب ما يمكن بسحبه

من الأكسجين الذائب بالصلب ثم رفع نسبة الكربون بالصلب حتى تصل الى النسبة المطلوبة .

وفى صناعة الصلب الفوار ، يتم عادة نزع الأكسجين ورفع نسبة الكربون باضافة سبيكة الفيرومنجنيز الى المحول أو البودقة .

ويجب أن يكون الفيرومنجنيز المضاف ذا أحجام مناسبة ومندى بقليل من الماء حتى يتمكن من اختراق طبقة الحثث الكثيفة دون أن يحتجز بها ٠٠ وقد وجد أن نسب الأحجام للفيرومنجنيز المضاف هو ٥٠ مم كقطر لمساحة المقطع وتضاف أثناء صب الصلب فى البودقة .

ويمكن تعيين وزن الفيرومنجنيز الذى يجب اضافته من قانون العلاقة الآتية :

$$\text{وزن الفيرومنجنيز المضاف} = \frac{\text{س} \times \text{ص} \times ١٠٠}{\text{أ} (١٠٠ - \text{ب})}$$

حيث : س = وزن الشحنة بالطن ( مثلا ٢٠ طنا )

ص = نسبة المنجنيز المراد الوصول اليها % ( مثلا : نسبة المنجنيز بالصلب = ٠.٩%

النسبة المطلوبة = ٠.٤% ، ص = ٠.٩ - ٠.٤ = ٠.٥%

أ = نسبة المنجنيز فى السبيكة % ( مثلا ٧٥% )

ب = نسبة ما يفقد من المنجنيز ( عادة ٣٠ - ٤٠% ) عند اضافته فى المحول ١٥ - ٢٠% عند اضافته فى البودقة .

وكمثال يكون وزن الفيرومنجنيز الواجب اضافته تبعا للبيانات المعطاة .

$$= \frac{١٠٠ \times ٣١ \times ٢٠}{(٣٥ - ١٠٠) \times ٧٥} = ١٣ \text{ طنا}$$

وهذه الكمية من الفيرومنجنيز ترفع نسبة الكربون فى الصلب الناتج بمقدار

$$= \frac{١٠٠ \times ٦٥ \times ١٣ \times ٠.١}{٢٠} = ٠.٤\%$$

حيث أن هذه السبيكة تحتوي على ٦٥٪ من وزنها كربونا مع افتراض عدم فقد أى كربون منها .

وإذا كانت نسبة الكربون بالصلب بعد النفخ مباشرة ٥٠٪ فإن النسبة النهائية تصبح مساوية ٩٠٪ وللمنجنيز الموجود فى صلب بسمر الفوار تأثير ملحوظ على خواص كتل الصلب أثناء درفلتها .

وبزيادة نسبة المنجنيز فى الصلب نحد من شدة فورانه فى قوالب الصلب وبهذا نصبح الكتل رفيقة للغاية .

أما إذا انخفضت نسبة المنجنيز بالصلب أصبح ضروريا اضافة قطع الالومنيوم ليقوم بنفس الدور الذى يقوم به المنجنيز .

ومن الأهمية بمكان أن تؤخذ كل هذه الاعتبارات فى الحسبان حتى يتم صنع الصلب بنجاح . وتعرضنا كثير من العقبات مع صنع صلب بسمر المخمد فى نهاية النفخ عندما تصل نسبة الكربون الى ٠١٪ فإن كمية كبيرة من الأكسجين تبلغ ٠٦ ر - ٠٩٪ تكون ذائبة فى الصلب وأحيانا لا يكون الصلب الناتج مخمدا تماما بالرغم من اضافة كميات وفيرة من الفبروسليكون والالومنيوم وفى هذه الحالة يمكننا نزع الأكسجين بنجاح بواسطة الكربون حيث نزداد قابليته للأكسجين عند درجات الحرارة العالية . فباياف نفخ الهواء فور شحوب شعلة اللهب عند فوهة المحول ( ٥٠٪ كربونا ) تضاف كمية من الحديد الزهر الى المحول ويحتوى ( الحديد الزهر على ٢٥٪ كربونا ، ١٥٪ سليكونا وعندئذ يشتد التفاعل حتى اذا انتهت هذه التفاعلات يكون الصلب جاهزا لصبه فى البودقة حيث نضاف اليه الكميات المطلوبة من سبائك الفيرومنجنيز والفبروسليكون والالومنيوم ولهذا يحتوى الصلب المخمد تماما على حوالى ١٥٪ كربونا ، ١٥٪ أكسجين .

وقد تستخدم سبيكة السليكومنجنيز لنزع الأكسجين من بعض أنواع الصلب الخاصة .

وفى صناعة الصلب الكربونى أو صلب القضبان تستخدم عادة العوامل النازعة للأكسجين والكربنة بعد صهرها فى أفران الدست ، أو الأفران الكهربائية .

وعادة يكون التركيب الكيميائى للعوامل النازعة للأكسجين كما يأتى :

كربونا	٣٥ - ٤٨٪
منجنيز	٩٣ - ١٠٥٪
سليكونا	٢٤ - ٧١٪
فوسفورا	١٦٪

وإذا استخدمت هذه العوامل بمقدار يتراوح بين ٩٣ - ٨٦.٥٪ كجم/طن من المعدن المنفوخ لانتاج صلب القضبان كانت نسبة ما يحتويه في النهاية من السليكون ٠٩-١٤.٥٪ وفي هذه الحالة يضاف الفيروسليكون الى البودقة حتى ترتفع هذه النسبة الى ١٨-٢٥٪ وفي بعض الأحيان يكون الحديد الزهر المرأوى هو المادة المستخدمة لنزع الاكسجين وأيضا العامل المكون لانتاج صلب القضبان \* ويمكن الاستغناء عن عملية الكربنة لانتاج صلب القضبان ويتأتى هذا بإيقاف النفخ عند نسبة عالية من الكربون وبإضافة الفيرومنجنيز منصهرا الى جانب الكربون الموجود فعلا بالصلب تتم عملية نزع الاكسجين بسهولة وتستخدم وحدة خاصة لصهر الفيرومنجنيز الذى يؤخذ فى بودقة صغيرة لاضافته الى الصلب الناتج أثناء تفريره فى المحول كما يلقي أيضا الفيروسليكون والألومونيوم فى البودقة فى نفس الوقت \*

ولصلب القضبان المصنوع فى محولات بسمر حساسية كبيرة للألومونيوم فبإضافته تنخفض السيولة ويصبح غليظ القوام \*

ومن الأهمية بمكان أن يراعى بكل دقة عدم تجاوز كمية الألومونيوم المضافة عن ١٠٠ - ٢٥٠ جرام لكل طن من الصلب الناتج اذ أن تعدى هذه النسبة يصيب صلب القضبان فى بنيانه الماكرو سكوبى بعيوب عديدة تعط من جودته وتفقد قيمته \*

وقد يستخدم كموا د مكرنة كل من : الكربون الناعم والانثراسيت وغيرها من المواد الكربونية الأخرى \*

وينحصر استخدامها عادة فى رفع نسبة الكربون ٠٥-١٪ وتضاف ناعمة - بعد نخلها ووضعها فى أكياس من الورق - الى الصلب فى البودقة بعد تفريره من المحول \*

### خواص واستعمالات صلب بسمر

يتميز صلب بسمر بارتفاع مقاومة النهاية للكسر ونقطة استسلامه اذا قورن بصلب الأفران المفتوحة \* وكلما انخفضت نسبة الكربون كلما

تباينت خواصه الميكانيكية تباينا كبيرا وتصل نسبة  $\frac{6a}{6l}$  لصلب بسمر الى ٦٨-٧٤ر٠ وهى أكبر من مثيلتها لصلب الافران المفتوحة التى تساوى ٦٤ر٠ - ٦٧ر٠ ويمكن تفسير ذلك بارتفاع نسبة لكل من الأكسجين والنيتروجين والفوسفور .

ولكن لا يخلو صلب بسمر من بعض العيوب ، فقصفانه عالية خاصة عند درجات الحرارة المنخفضة .

وبسهولة كبيرة يمكن لحام صلب بسمر بواسطة الطرق بينما توجد صعوبة بالغة عند لحامه بواسطة الكهرباء مما يحد من مجال استعماله فى شتى النواحي العملية ولما كان صلب بسمر يحتوى على الفوسفور والنيتروجين بنسب عالية نوعا ، لذلك فانه يستحيل استخدامه اذا كانت خاصية اللدونة مطلوبة عند معالجته على البارد بواسطة الضغط كما فى حالات التشكيل بواسطة السحب ، الدرفلة على البارد ، ويستخدم صلب بسمر عمليا فى صناعة القطاعات الجانبية فى الانشاءات غير الحساسة . كالمسامير والقضبان المدرفلة التى لايجرى عليها بعد ذلك عمليات تشكيل لاحقة كالسحب الى أسلاك ، الأنابيب الملحومة ، الفولاذ سريع القطع .

## ٨ - الموازنة المادية والحرارية لشحنة بسمر

### ١ - الموازنة المادية

فى حساباتنا الآتية نعتبر ١٠٠ كجم كوحدة أساسية لشحنة محول بسمر والجدول الآتى يبين البيانات الخاصة بشحنة بسمر .

جدول (٥)

نسبة المواد المحتواة %					
ك	س	م	فو	كب	
٤١ر	١٢ر	٩٢ر	٦٥ر٠	٠٤ر	الحديد انزهر
٠٦ر	-	١ر	٦٥ر٠	٠٤ر	المعدن المنفوخ
٠٤ر٤	١٢ر	٨٢ر	-	-	كمية المواد المؤكسدة



١ - افترض ان ٢٠٪ فقط من الكربون الكلي يتأكسد الى ثاني اكسيد الكربون ، ٨٠٪ يتأكسد الى أول أكسيد الكربون .

٢ - ١٢٥٪ من وزن المعدن - يستهلك من بطانة المحول ( ديناس ) وينذهب الى الخبث .

٣ - تركيب البطانة كما يأتي :

س ١ ٢١ ٩٦٪

لو ٢ ٣١ ١٥٪

كا ١ ٢٥٪

٤ - جميع م أ الناج يتحد مع س ٢١ والباقي من س ٢١ يتحد مع ح أ مكونا ( ح أ . س ٢١ ) ، وتهمل كمية س ٢١ التي تتحد مع ك أ الناتج من البطانة .

$$\text{وزن البطانة الذي ينذهب الى الخبث} = \frac{125}{100} = 100 = 125 \text{ كجم}$$

$$\text{وزن س ٢١ الذي ينذهب الى الخبث} = 125 \times 96 = 120 \text{ كجم}$$

$$\text{وزن م ٢ الذي ينذهب الى الخبث} = 125 \times 15 = 18.75$$

$$\text{وزن ك أ الذي ينذهب الى الخبث} = 125 \times 25 = 31.25 \text{ »}$$

$$\text{وزن م الذي تأكسد} = \frac{82}{100} = 100 = 82 \text{ »}$$

$$\text{وزن م أ المتكون} = \frac{82 \times 71}{55} = 106 \text{ »}$$

هذه الكمية من م أ تتحد مع كمية مناظرة من س ٢١ يمكن حسابها كما يلي :

$$\text{وزن س ٢١ الذي يتحد مع م أ} = \frac{60 \times 106}{71} = 9 \text{ كجم}$$

$$\text{وزن س الذي تأكسد} = 100 \times \frac{12}{100} = 12$$

$$\text{وزن س ٢١ المتكون} = \frac{60 \times 12}{28} = 25.71$$

...

هذه الكمية من س أ سوف تتحد مع كمية مناظرة لها من ح أ ، م أ  
وسبق أن حسبنا كمية س أ التي تتحد مع م أ وكانت ٩ ر كجم

$$\text{وزن س أ التي تتحد مع ح أ} = ٢٥٨ - ٩ = ١٦٨ \text{ ر كجم}$$

وزن ح أ الذي يتحد مع ١٦٨ ر كجم س أ

$$= \frac{٦٠}{٧٢} \times ١٦٨ = ٢٠٢ \text{ ر كجم}$$

وهذه الكمية من ح أ نحصل عليها بتأكسد وزن من الحديد

$$= \frac{٥٦ \times ٢٠٢}{٧٢} = ١٥٧ \text{ ر كجم}$$

\*\*\*

حساب الاكسجين اللازم لأكسدة الحديد والشوائب  
الحديد الزهر

١ - وزن الكربون الذي تاكسد الى ك أ

$$= ٤٠٤ \times ٢ = ٨١ \text{ ر كجم}$$

٢ - وزن الكربون الذي تاكسد الى ك أ

$$= ٤٠٤ \times ٨ = ٣٢٣ \text{ ر كجم}$$

وزن الاكسجين اللازم لتاني أكسيد الكربون

$$= ٨١ \times \frac{٣٢}{١٢} = ٢١٦ \text{ ر كجم}$$

وزن الاكسجين اللازم لأول أكسيد الكربون :

$$= ٣٢٣ \times \frac{١٦}{١٢} = ٤٣١ \text{ ر كجم}$$

وبالمثل نحصل على أوزان الاكسجين اللازمة لأكسدة الشوائب  
الأخرى ، ويمكن تنظيم هذه العملية في جدول كالاتي :

جدول (٦)

وزن الأكسيد الناجم / كجم	وزن الأكسجين اللازم / كجم	الأكسيد الناجم	وزن العناصر التي تأكسدت كجم
٢٩٧	$216 = \frac{32}{12} \times 81$	كأ	ك ٨١
٧٥٤	$431 = \frac{16}{92} \times 323$	كأ	ك ٣٢٣
٢٥٨	$138 = \frac{32}{28} \times 12$	سأ	س ١٢
١٠٦	$24 = \frac{16}{55} \times 82$	أم	م ٨٢
٢٠٢	$40 = \frac{16}{56} \times 107$	حأ	ح ١٥٧

مواد مفقودة أثناء الانصهار  
٨٥٤  
٧٦٣

وزن وتركيب الخبث :

سأ	٢٥٨ + ١٢ = ٣٧٨ كجم	٥٤٧٥ %
حأ	٢٠٢ »	٢٩٢ %
أم	١٠٦ »	١٥٣ %
لأ ٢	١٩ »	٣ %
كأ	٣١ »	٤٥ %
	٦٩١ كجم	١٠٠ %

### ٣ - حساب كمية الهواء اللازم

الجدول الآتى يبين تكوين الهواء :

جدول (٧)

العناصر	النسبة حجما	النسبة وزنا	النسبة الوزنية مع الأخذ فى الاعتبار تحلل المياه
أ <sub>٢</sub>	٢٠٧٩	٢٣٠٧	٢٣٦٢
ن <sub>٢</sub>	٧٨٢١	٧٦٣١	٧٦٣١
ماء أ	١	٠.٢	-
ماء ب	-	-	٠.٦

وزن المتر المكعب من الهواء = ١.٢٩ كجم

وزن الهواء اللازم لنفخ ١٠٠ كجم من الحديد الزهر

$$= \frac{٨٥٤ \times ١٠٠}{٢٣٦٢} = ٣٦١٥ \text{ كجم}$$

، حجم الهواء اللازم لنفخ ١٠٠ كجم من الحديد الزهر

$$= \frac{٣٦١٥}{١.٢٩} = ٢٨٠٣ \text{ م}^٣$$

إذا الكمية المطلوبة من الهواء نظريا لنفخ ١ طن من الحديد الزهر

$$= ٣٢٨٠ \text{ م}^٣$$

، ٣٦١٥ كجم من الهواء تحتوى على : ٨٥٤ كجم من الأكسجين

٢٧٥٩ كجم من ن<sub>٢</sub> ٠.٢ كجم من يد

ويكون تركيب الغازات الخارجة من المحول كما يلى :

$$\begin{aligned}
& \text{لذا الناتجة} = 297 \times \frac{224}{44} = 153 \text{ م}^3 = 12.5\% \\
& \text{لذا الناتجة} = 754 \times \frac{224}{28} = 601 \text{ م}^3 = 20.2\% \\
& \text{ن الناتجة} = 2759 \times \frac{224}{28} = 2220.7 \text{ م}^3 = 73.94\% \\
& \text{يد الناتجة} = 0.2 \times \frac{224}{2} = 22 \text{ م}^3 = 0.74\%
\end{aligned}$$


---

الوزن الكلى 3812 كجم      32983 م<sup>3</sup>      100%

ويمكن تنظيم الموازنة المادية فى جدول كالاتى  
جدول ( ٨ )

المعطى		الناتج	
الحديد الزهر	١٠٠	صلب	٩٢٣٧ = ٧٦٣ - ١٠٠
هواء	٣٦١٥	غازات	٣٨١٢
بطانة	١٢٥	خبث	٦٩١
المجموع الكلى	١٣٧٤٠		١٣٧٤٠

وفى المحول يتراوح الفاقد من الصلب من ١ : ١٥٪ نتيجة لعدم سيولة الخبث لدرجة تكفى لفصل الصلب تماما .

## ٢ - الموازنة الحرارية

يعتمد حساب الموازنة الحرارية لشحنة المحولات على الأساس التالى :  
الطاقة الحرارية الداخلة + الطاقة الحرارية المتولدة من التفاعلات =  
الطاقة الحرارية الخارجة .

اذ أنه لا يمكن للطاقة أن تفنى أو أن تخلق من عدم ، ويمكن ادماج الطاقة الحرارية المتولدة من التفاعلات مع الطاقة الحرارية الداخلة تحت الحرارة الداخلة بالمحول .

إذا / الحرارة الداخلة = الحرارة الخارجة

### والحرارة الداخلة تشمل البنود الآتية :

- ١ - كمية الحرارة التي يحتويها الحديد الزهر .
- ٢ - كمية الحرارة التي يحتويها الهواء الداخل اذا كان ساخنًا .
- ٣ - كمية الحرارة المتولدة من احتراق الشوائب .
- ٤ - كمية الحرارة المتولدة من تكوين الخبث .

### والحرارة الخارجة تشمل البنود الآتية : =

- ١ - كمية الحرارة التي يحتويها الصلب .
- ٢ - كمية الحرارة التي يحتويها الخبث .
- ٣ - كمية الحرارة التي يحتويها الغازات .
- ٤ - كمية الحرارة التي يحتويها الاشعاع .

### حساب الحرارة الداخلة : =

$$\begin{aligned} & ١ - \text{كمية الحرارة التي يحتويها الحديد الزهر} = \\ & = ١٠٠ [ ١٧٨ \times ١١٥٠ + ٥٢ + ٢٥ ] \text{ ر } ( ١٢٥٠ - ١١٥٠ ) \\ & = ٢٨١٧٠ \text{ سعرا} \end{aligned}$$

### حيث :

١١٥٠ : درجة انصهار الحديد

١٧٨ : السعة الحرارية للحديد الزهر قبل نقطة الانصهار

سعر/كجم ٥٠ م

٥٢ : الحرارة الكامنة اللازمة لانصهار الحديد

١٢٥٠ : درجة حرارة الحديد الزهر عند دخوله المحول

٢٥ : السعة الحرارية للحديد الزهر

سعر/كجم ٥٠ م

### ٢ - كمية الحرارة التي يحتويها الهواء الداخل

$$= ٣٦١٥ \times ٢٣٣ \times ٥٠ = ٤٢٠ \text{ سعرا}$$

حيث :

٥٠ هي درجة حرارة الهواء الداخل بالمحول م

٢٣٣ = السعة الحرارية للهواء عند ٥٠ م

٣ - كمية الحرارة المتولدة من احتراق الشوائب : =

( أ ) من انكربون :

$$= ٨١٣٧ \times ٨١ + ٢٤٥٢ \times ٣٠٢٣ = ١٤٥١١ \text{ سعرا}$$

( ب ) من السليكون :

$$= ٧٠١٥ \times ١٢ = ٨٤٢٠ \text{ سعرا}$$

( ج ) من المنجنيز :

$$= ١٧٥٨ \times ٨٢ = ١٤٤٢ \text{ »}$$

( د ) من الحديد :

$$= ١١٩١ \times ١٥٧ = ١٨٧٠ \text{ »}$$

حيث : -

٨١٣٧ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق الكربون سعرا

٢٤٥٢ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق الكربون سعرا

٧٠١٥ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق السليكون سعرا

١٧٥٨ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق المنجنيز سعرا

١١٩١ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق الحديد سعرا

٤ - كمية الحرارة المتولدة من تكوين الحثب :

( أ ) تكوين م أ ٠ س أ ٢ ١٤٠ سعر / كجم

( ب ) تكوين ح أ ٠ س أ ٢ ١٠٥ سعر / كجم

إذا / كمية الحرارة من أ = ٨٢ × ١٤٠ = ١١٢ سعرا

كمية الحرارة من ب = ١٥٧ × ١٠٥ = ١٦٥ سعرا

الحرارة الخارجة :

درجة حرارة الصلب والجلخ = ١٦٥٠ م°

درجة حرارة الغازات الخارجة = ١٥٠٠ م°

١ - كمية الحرارة الخارجة مع الصلب

$$= ٩٢٣٧ [ ١٦٧ \times ١٥٠٠ + ٦٥ + ٢ ( ١٦٥٠ - ١٥٠٠ ) ]$$

$$= ٣١٩١٤ \text{ سعر}$$

حيث :

$$١٥٠٠ م^{\circ} = \text{انصهار الصلب}$$

$$٠.١٦٧ = \text{السعة الحرارية للصلب قبل نقطة الانصهار}$$

$$\text{سعر / كجم م}^{\circ}$$

$$٦٥ = \text{الحرارة الكامنة لانصهار الصلب} \quad \text{سعر / كجم م}^{\circ}$$

$$٢ = \text{السعة الحرارية للصلب المنصهر} \quad \text{سعر / كجم م}^{\circ}$$

٢ - كمية الحرارة الخارجة مع الجليخ : -

$$= ٦٩١ ( ٢٦٤ \times ١٦٥٠ + ٥٠ ) \times ٣٣٥٥ \text{ سعرا}$$

حيث :

$$٢٦٤ = \text{السعر الحرارية للجليخ قبل نقطة الانصهار}$$

$$\text{سعر / كجم م}^{\circ}$$

$$٥٠ = \text{الحرارة الكامنة اللازمة لانصهار الجليخ}$$

$$\text{سعر / كجم م}^{\circ}$$

٣ - كمية الحرارة الخارجة مع الغازات : -

$$\text{كأ } ٢١٥٣ \times ٠.٥٣٤ \times ١٥٠٠٠ = ١٢٢٥ \text{ سعرا}$$

$$\text{كأ } ٦٠.١ \times ٣٢٩ \times ١٥٠٠ = ٢٩٦٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ن } ٢٢٠.٧ \times ٣٢٩ \times ١٥٠٠ = ١٠٩١٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{يد } ١٢ \times ١٢ \times ٣٢٩ \times ١٥٠٠ = ١٠.٨ \text{ سعرا}$$

حيث أن :

$$٥٣٤ \text{ السعة الحرارية للغاز ك } ٢ \text{ أ}$$

$$٣٢٩ \text{ السعر الحرارية للغاز ك } ٢ \text{ أ ، ن } ٢ \text{ ، يد عند } ١٥٠٠ م^{\circ}$$

ويمكن وضع الموازنة الحرارية فى جدول كالآتى :



## جدول الموازنة الحرارية

جدول ( ٩ )

النسبة %	سعر	الحرارة الداخلة
٥١١	٢٨١٧٠	الحرارة المحتواة في الحديد الزهر
٧٦	٤٢٠	الحرارة المحتواة في الهواء الداخل
		الحرارة المتولدة من الأكسدة :
٢٦٣١	١٤٥١١	١ - الكربون
١٥٣٠	٨٤٢٠	٢ - السليكون
٢٦٢	١٤٤٢	٣ - المنجنيز
٣٤٠	١٨٧٠	٤ - الحديد
٠٥١	٢٢٨٠ تقريبا	الحرارة المتولدة من تكون الخبث
١٠٠ /	٥٥١١٣	المجموع الكلي
النسبة ١٠٠ %	سعر	الحرارة الخارجة
٥٨	٣١٩١٤	الحرارة المحتواة في الصلب
٦١	٣٣٥٥	الحرارة المحتواة في الخبث
٢٧٥	١٥٢٠٣	الحرارة المحتواة في الغازات الخارجة
٥	٢٧٥٦	الحرارة المفقودة بواسطة الاشعاع ،
٣٤	١٨٨٥	تحليل الرطوبة الى عناصرها
		الحرارة المستهلكة لانصهار الخرقة
١٠٠ %	٥٥١١٣	المجموع الكلي

والحرارة المفقودة بالطرق المختلفة يمكن اعتبارها ٥ % تبعا للبيانات العملية .



## انتاج الصلب فى محولات توماس ( طريقة بسمر القاعدية )

### ١ - القواعد الأساسية لانتاج صلب توماس

تستخدم محولات توماس ذات البطانة القاعدية لنفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور ١٦-٢٪ وتصنع هذه البطانة القاعدية من طوب الدولوميت المقطرن .

ويشحن المحول أولا بالكمية اللازمة من الجير ( أكسيد الكالسيوم ) كإ ، وبعد أكسدة الكربون يبدأ الحديد فى التأكسد ، ويستمر فى تأكسده حتى ينجع فى العذب كمية كبيرة من أكاسيد الحديد ويبدأ الجير فى الذوبان فى محلول الحث وأكاسيد الحديد ، وعندئذ يبدأ الفوسفور فى التأكسد بشدة مكونا خامس أكسيد الفوسفور الذى يدخل فى الحث فور تكونه .

ومن هذا يتضح أن انتاج الصلب بالطريقة القاعدية (طريقة نوماس) يتم باسعمال الهواء فقط فى النفخ ، وبسنمر دفع الهواء فى المحول حتى نسبة منخفضة من الكربون ( ٠٤ ر - ٠٥ ٪ ) ولهذا تجرى عملية الكربنة بعد انتهاء النفخ للحصول على الصلب الكربونى .

ومن الناحية الحرارية فانه يمكن القول بأن كمية الحرارة المتولدة من أكسدة الفوسفور تكون كافية لرفع درجة حرارة الصلب الناتج الى الدرجة المطلوبة للصلب .

وتحت ظروف خاصة قد ترتفع درجة الحرارة كثيرا عن معدلها المعتاد ويكون مناسباً فى هذه الحالة اضافة كمية من الحردة حتى تعود الحرارة الى المعدل المطلوب .

ومن هذا يمكننا القول ان الفوسفور يقوم بنفس الدور الذى يقوم به السليكون فى محول بسمر تماما .

ويحتوى خبث نوماس على نسبة عالية من حامس أكسيد الفوسفور ولهذا فانه باجراء بعض العمليات الخاصة عليه يصبح صالحا للاستعمال كسماد فى الأراضى الزراعية فيقوى تربتها ويريد خصوبتها .

وما ان عرفت طريقة نوماس حتى أخذت طريقها فى الانتشار فشملت معظم بلدان غرب أوربا حيث تمتلك هذه البلدان احتياطيًا ضخما من خامات الحديد الغنية بالفوسفور ، ولهذا فلا غرو فى أن نحظى طريقة نوماس بالمقام الأول فى صناعة الصلب بهذه البلدان .

وقد قام الاتحاد السوفينى بمجهود لا بأس به فى تطوير طرق انتاج الصلب فى محولات نوماس حتى يمكن الانتفاع بها فى استغلال خام اللمونيت الذى يحتوى على ٤٣ / حديدا ، وحوالى ١٨ / فوسفورا ، ويوجد خام اللمونيت هذا فى رسوبيات عديدة بمنطقتى كوستانيا وكازاخستان حيث تستخدم هذه الخامات فى انتاج حديد زهر يحتوى على ١٨-٢٠ / فوسفور .

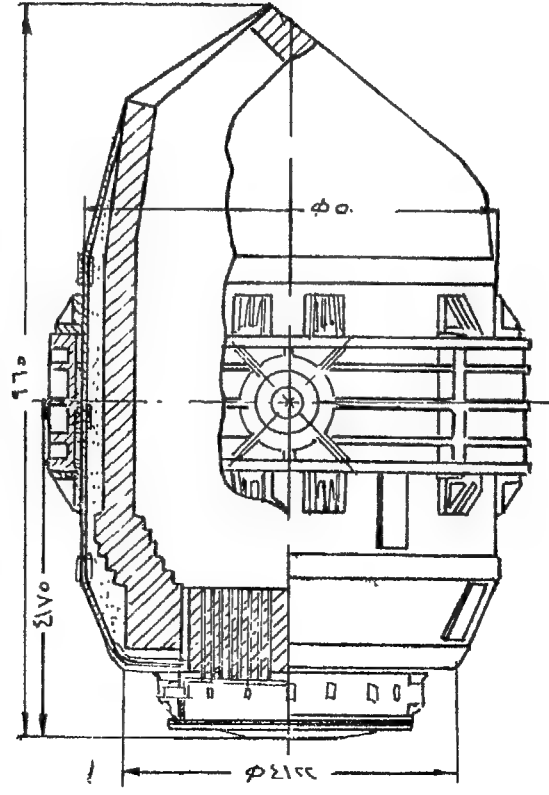
## ٢ - تصميم وتشغيل محولات نوماس

يعتبر تصميم البطانة فى محول نوماس وكذلك الأبعاد الهندسية لبعض أجزائه هو نقطة الاختلاف الوحيدة بين محول نوماس وبسمر .  
وبرى فى شكل (١٨) رسما تفصيليا لأحد محولات نوماس ذى سعة ٤٠ - ٤٥ طنا .

### البطانة :

فى العادة يستخدم طوب الدولوميت المقطرن لتبطين محول نوماس ويندر استعمال الدك فى تبطينه ( سواء كان الدك كليا أم جزئيا ) ، ويصنع طوب الدولوميت المقطرن ، يستخدم خليط من الدولوميت المحروق حديثا ذى تصنيف حجمى خاص وبقايا الدولوميت المستهلك فى مرات سابقة ( بنسبة ١ : ١ ) بالإضافة الى كمية من القار ، سبق أن انتزع منه ما يحتويه من الماء بالإضافة الى نسبة من القار اللامائى المسخن الى درجة ٥٠ - ٥٧٠ م .

ويجرى خلط هذه المواد ببعضها فى طواحين دوارة ويتم تشكيل هذا الخليط حسب الأنشكال المطلوبة بوضعه فى قوالب ذات أشكال مختلفة ثم يتعرض لضغط شديد ونقضى المواصفات الخاصة بصناعة هذا الطوب أن



شكل (١٨) : محول توماس يسع ٤٠ - ٤٥ طنا .

يحتوى الدولوميت على أقل نسبة من السليكا ( ١٥-٢٠ ٪ ) كما يجب أن لا تتعدى نسبة الألومينا + أكسيد الحديد ( ٢٥-٣٠ ٪ ) .

وأثناء التخميص ( الكلسنة ) لا تتعدى نسبة ما يفقد من الدولوميت ١٪ بآى حال من الأحوال ويستغل المستهلك فى عمل طبقة حشو تملأ الفراغ ما بين هيكل المحول وجدار الطوب الدولوميسى المعرض للمعدن . هذا بعد اضافة القار اليه حتى يتماسك .

وبديهي أن تتعرض الأجزاء السفلى من البطانة للتآكل بشدة عن الأجزاء العليا منها الأمر الذى أوجب أن نزداد البطانة سمكا كلما اقتربت من قاعدة المحول ( كما فى جدول ١٠ ) .

وقبل أن يصبح المحول جاهزا للاستعمال تسخن البطانة بواسطة فحم الكوك أو الغاز ويجب أن يكون التسخين شديدا حتى لا يتسرب القار

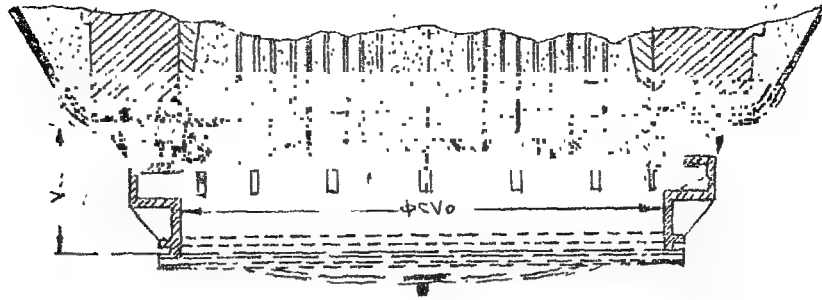
خارج الطوب اذ يتعرض الفار للنسجين الشديد فيتهجم ويقوم بدور المادة اللاصقة لحبيبات الدولوميت .

وتتأثر البطانة تأثيراً كبيراً بالفاعلات الكيميائية والظروف الميكانيكية التي تحدث بين المعدن والحبت وفي المتوسط لا تتغير البطانة الا بعد عمل ٣٠٠ صبة وكحد أقصى ٤٠ٰ صبة .

#### قاعدة المحول :

كقاعدة عامة - تتميز قواعد محولات توماس عن تلك المستخدمة في محولات بسمر باحتوائها على أنابيب ابرية ( كما في شكل ١٩ ) .

ويتم صنع هذه القواعد بذلك خلط من الدولوميت المقطرن ويتوقف عمر هذه القواعد وقوة تحملها أساساً على نوع كل من الدولوميت المستخدم والقار وأيضاً على ظروف حرقها .



شكل (١٩) : قاعدة ابرية لمحول توماس يسع ٢٠ طناً .

ولا يقل عامل التجانس الحجمي لحبيبات الدولوميت أهمية عن العوامل السابقة وقد وجد أن أنسب الأحجام ٢ - ٤ مم ، ونسبة السليكا التي يحتويها الدولوميت تأثير مماثل ويجب أن لا تزيد هذه النسبة على ١٥٪ كما أن حرق القواعد بطريقة سليمة وصحيحة عامل كبير في تحديد عمر هذه القواعد ( يجب أن لا تتعدي نسبة الفاقد أثناء الحرق ١٪ ) .

جداول (١٠)

السعة بالطن	القطر الخارجي مم	سمك البطانة		سمك الطبقة العازلة مم	ارتفاع القاعدة وهي جديدة مم	الارتفاع الكل مم	زاوية ميل فوهة المحول - ٥	قطر فوهة المحول
١٥-١٤	٢٠٠	الجزء الأسفل	الجزء العلوي	١	٨٨٠	٥١٨٠	١١	٨٠
٢٥	٢٧٠	٥٠٠	٤٥٠	-	٨٠٠	٦٢١٠	١٥	١٠٠٠
٢٠	٢٢٠	٦٠٠	٥٠٠	١٥٠ (السمك الدائم للبطانة لغاية ٣٠٠)	٩٠٠-٨٠٠	٧٠٩٢	٤٥	١١٨٠
					١٠٠٠	٧٥٥٠	٤٠	١٢٠٠

ويجب نزع الماء من القار نزعا تاما ( فيجب أن تكون نسبة الرطوبة به اقل من ٠.٥٪ ) .

ونمر قواعد المحول بالمراحل التالية حتى يصبح جاهزة للاستعمال :  
فيوضع اطار معدني له نفس الشكل المطلوب للقاع على لوح من الحديد  
المصبوب سمكه ٥٠ مم ، ولسهولة الفك والتركيب يتكون هذا الاطار من  
جزئين أو أكثر . وننحصر أهمية الاطار في تشكيل القاعدة وتحميصها  
( حرقها ) وبعد ان يتم حرق القاعدة ينزع الاطار .

وعلى طبقات منفصلة يدك خليط الدواوميت دكا جبدا بواسطة  
ماكينات الدك الرجاجة والهزاة ويتم الكبس على طبقات منفصلة يبلغ  
سمك كل منهما ٢٠٠ - ٣٠٠ مم وفي نفس الوقت تثقب هذه الطبقات  
بواسطة أسياخ فولاذية لعمل فتحات الهواء ( الودنات ) في القاعدة .

واستنادا الى طول فطر القاعدة يكون ترتيب هذه الفتحات (الفونيات)  
موزعة بانتظام على ٥ - ٩ دوائر منمركزة .

ويتراوح قطر هذه الفتحات بين ١٣ - ٦١ مم ، وعلى مدى كبير  
تغير المساحة الكلية لهذه الفتحات لكل طن من الشحنة فهي تتراوح بين  
١٣ - ٢٦ سم ٢ تبعا لسعة المحول وعادة تقع بين ١٥ - ١٧ سم ٢ .

أما ارتفاع القاعدة عندما تكون جديدة فنتراوح بين ٧٠٠ - ١١٠٠ مم.  
وبحرق القواعد في أفران خاصة لمدة ٩٦ - ١٢٠ ساعة . حيث ترفع  
درجة الحرارة سريعا الى ٥٠٠ - ٦٠٠م حتى يتسرب القار الى خارج  
الخليط .

وأثناء فتره التحميص تنفصل المواد الطيارة الموجودة بالقار حيث  
يتفجر القار فيعمل على تماسك جيبات الدولوميت ويزيد من متانته .  
وأثناء الاستعمال تتآكل القواعد بشدة عند فترات الهواء . وبالإضافة  
الى نوع المواد المستخدمة في صناعة القواعد يتأثر الى حد بعيد عمر القاعدة  
بعوامل التشغيل المختلفة ، وظروف النفخ ، فمثلا ينخفض استهلاك القاعدة  
إذا قلت مدة النفخ وكان اندفاع الهواء خارجا من الفتحات سريعا بينما  
يقل عمر القاعدة إذا حوت عددا كبيرا من الفتحات وطل الضغط المستعمل  
نابنا أو بمعنى آخر انخفضت سرعة الهواء الخارج من الفتحات .

وعليه فانه إذا زيد ضغط الهواء ، من ١٥ الى ٢ - ٢٥ ضغطا  
جويا ( مقيسا بمقياس الضغط ) مع تثبيت العوامل الأخرى ، طال عمر



القاعدة وفى المتوسط يستمر عمر القاعدة حتى تؤدي ٢٠ - ٧٥ صبة ،  
وقد تبلغ فى بعض الأحيان ١٠٠ صبة .

وتعوق القواعد التى استعمل فى دكها الماكينات الهزازة فى صمودها  
للتآكل تلك التى دكت بواسطة ماكينات الدك .

وقد يستخدم المجنزيت فى بعض الأحيان فى عمل الودنات الهوائية  
الموجودة بالقاعدة وأحيانا يستعمل القواعد ذات الودنات المصنوعة من  
المجنزيت حيث تشكل تحت ضغط عال ١ م يكون حرقها بطريقة خاصة .  
وفى هذه الحالة تصل قوة تحمل هذه الودنات للضغط ٣٥٠ - ٦٢٠  
كجم/سم<sup>٢</sup> ويطول بفاؤها كلما كانت متانتها أعلى عند درجات الحرارة  
العادية .

توضع الخلطة على قاعدة من الحديد المصبوب ثم ينحكم فيها بواسطة  
مسامير خلال الفتحة الوسطى ثم يبدأ العامل فى ملء الفراغات بينها طبقة  
طبقة بخليط من الدولوميت المقطرن الذى يبلغ درجة حرارته ما بين ٧٠ -  
٨٠° م وتكبس بواسطة ماكينات الدك أو الماكينات الهزازة . وقبل وضع  
الطبقة الأخيرة نولج أبر خشبية فى فتحات الفصبات حتى تمنع انسدادها  
٠٠ ثم نحرف القاعدة بعد ذلك بطريقة خاصة تناسب أنواع الحرارة  
المستخدمة فنسخن القاعدة أولا الى ٢٥٠° م ثم نرفع درجة حرارتها الى  
٦٥٠ - ٧٥٠° م ونركب فى المحول قبل أن يبرد تماما .

ويجب أن نأخذ جانب الحبطة والحذر فى عدم تعرض القواعد ذات  
الفتحات المصنوعة من المجنزيت لعوامل التبريد اذ يفتقر المجنزيت الى  
انقباض الحرارى المناسب ولهذا فعند عدم استعمال المحول يجب أن يظل  
ساخنا بواسطة فحم الكوك أو الغاز .

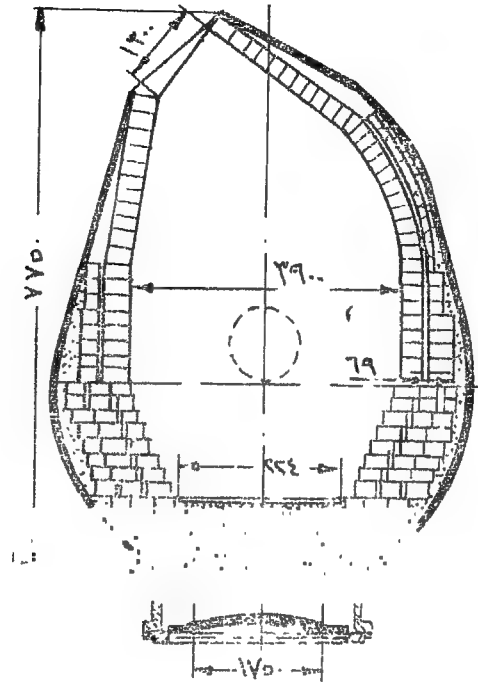
ويستهلك هذا النوع من القواعد بانتظام ويكفى لصنع عدد كبير من  
الصبات يصل الى أكثر من ١٠٠ صبة ( من ٧٠ - ١٤٠ صبة ) .

وطريقة تغيير القاعدة فى محول توماس هى نفس الطريقة المستخدمة  
فى محول بسمر ويستخدم ملء الفراغ بين القاعدة والمحول خليط من  
الدولوميت المقطرن دكا وفى جدول (١٠) تعطى الأبعاد الأساسية لبعض  
محولات توماس المختلفة السعة .

وفى الوقت الحاضر تستخدم صناعيا محولات سراوح سعتها بين  
١٥ - ٦٠ طنا .

وفى محولات توماس يكون الحجم النوعى ( حجم المحول لكل ١ طن

من الشحنة ) اكبر منه في محول بسمير وقد اوجب هذا ضخامة حجم الحطب المتكون وسدده التفاعلات التي تحدث داخل المحول .  
ومن الطبيعي أن سغير قيمة الحجم النوعي بين ١١ - ١٦ م<sup>٣</sup>/طن في تول عمر البطانة ، ١٣٥ - ٢٣ م<sup>٣</sup>/طن في أواخر عمر البطانة .  
وتتراوح نسبة ارتفاع المحول الى قطره الخارجى ١٣ - ١٨ ونسبة الارتفاع الى القطر الداخلى ( فى حالة البطانة الجديدة ) بين ١٦ - ٢٣ تبعاً لسعة المحول .  
وقد أوضحت أبحاث عديدة ان الفترة الزمنية لعملية النفخ ونسبة النروجين فى الصلب تنخفضان مع انخفاض ارتفاع حمام ( مغطس ) المعدن .  
ويمكن تحقيق ذلك بزيادة فطر المحول مع تثبيت وزن الشحنة وهو ما يحدث فى المحولات ذات الشكل البيضاوى أو التى على شكل الكمبرى وتبلغ النسبة بين محورى البيضاوى ( ١ : ١٤ ) كذلك يمكن خفض ارتفاع المعدن فى المحول بانقاص سمك البطانة فى الجانب الذى يعرض لظروف نحات وتآكل أقل .  
ويبلغ ارتفاع الحمام فى محولات نوماس ٦٠٠ ميلليمتر .



شكل (٢٠) : يبين احد المحولات له شكل الكمبرى وسعته ٥٠ طناً .

### ٣ - المواد الأولية اللازمة

#### لصناعة صلب توماس

تشمل المواد الأولية اللازمة لصنع صلب توماس : الحديد والزهر ، الخردة ، الجير ونفايات التشكيل ، ولقد بحثنا آنفا دور الخردة وخام الحديد في هذه الصناعة .

ويجب أن يحصى الجير على أكبر نسبة من أكسيد الكالسيوم كما يجب أن يكون ما يحتويه الكبريت والسليكا والالومينا أقل ما يمكن إذ أنه بانخفاض نسبة الكبريت في الجير ٠١ / سنخفض في الصلب الناتج ٠٢ ر ٠٠ / .  
ويسنحسب أن يكون الجير المستعمل حديث الحرق لا يحتوى على أى رطوبة ونص المواصفات على أن يكون التركيب الكيميائى للحديد الزهر كما يلى :

سليكون	٠٢-٠٦ %
منجنيز	٠٨-٠١٣ %
فوسفور	٠٢ - ٠٦ %
كبريت	٠٨-٠٠ %

ويلاحظ هنا أنه ليس للسليكون الموجود بالحديد الزهر أية أهمية حرارية نذكر وبارتفاع نسبه السليكون فى الحديد الزهر يصبح الحث ذا طبيعية رعوية مما يؤدى الى زيادة المقذوفات الحديدية أثناء التسخن وبذلك نخفض الكفاية الانشاجية للصلب الناتج وأيضا نزداد كمية الحث ويعمل ذلك على سرعة تأكل البطانة القاعدية .

ومن هذا كله ينضج خطورة نواجد السليكون بكميات كبيرة نسبيا فى الحديد الزهر وقد وجد أن أصلح النسب هى ما بين ٢ - ٣ % خاصة اذا زود هواء النفخ بالاكسجين النقى أو خليط منه مع بخار الماء .

واستنادا الى الحقيقة التى مؤاها أنه بنخفيض نسبه السليكون بالحديد الزهر فى الأفران العالية نرفع نسبة الكبريت به فانه فى كثير من الاحبان نجرى عملية لنزع السليكون من الحديد الزهر التوماسى باستخدام الاكسجين ويتم هذا فى البوادرى أو عند صب الحديد الزهر من الأفران العالية .

وكبيرا ما يضاف الحجر الجيرى الى الحديد الزهر بواقع ١ / منه وزنا فى البودقه قبل عملة النفخ .

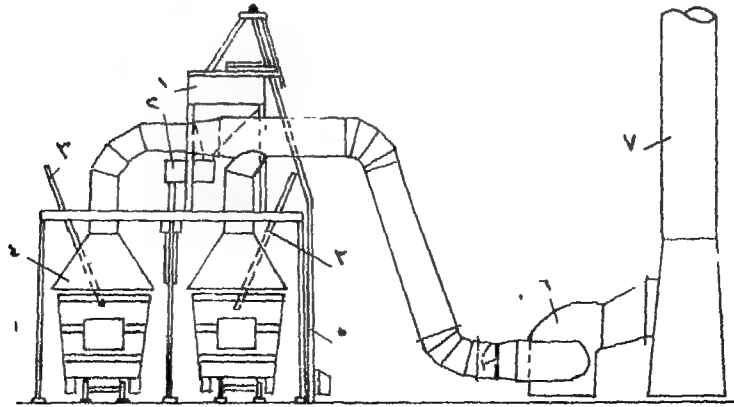
وبعض البيانات الخاصة بعملية نزع السليكون من الحديد الزهر موضحة بجدول ( ١١ ) .

جدول ( ١١ )

وزن الحديد الزهر ( طن )					
٢٠٠٩	٢٣٣٥٥	٢٩٨٥	٢٢	٢٠٠٢	
٢٥٥	٢٧	٤٢	٥٣	٧٨	% نسبة السليكون الموجود أولا
١٦	٢	١١	٢٢	٣٦	% الانخفاض في السليكون
٥٩١	١٠٢	١١	١١٧	١١٤	% نسبة المنجنيز الموجود أولا
٤٢	٣٣	١٩	٣٣	٣٦	% الانخفاض في المنجنيز
٣٨٩	٤٠٨	٤١٥	٤١٣	٣٩٨	% نسبة الكربون الموجود أولا
١١	٠٦	٠٩	٠٨	١١	% الانخفاض في الكربون
١٤٣	١٥	٤٩	٤٦	٤٧	% نسبة الفوسفور الموجود أولا
٠٤	٠٤	٠١	٠٢	٠١	% الانخفاض في الفوسفور
١٧٠	١٤٣	١٤٨	١٣١	٢١٣	حجم الأكسجين المستخدم في
١٩	١٨	١٧	٢٠	٢٠	د البودقة ( م٣
					مدة النفخ / دقيقة

وما هو جدير بالملاحظة انعدام نصاعد الابخرة البنية في الحديد  
الزهر التوماسى عندما يتم النفخ فى البودقة بواسطة خليط من بخار الماء  
والاكسجين .

وقد بينت التجارب التى أجريه أنه باستخدام تيار من الاكسجين  
بمعدل ٨م<sup>٣</sup>/طن وبخار ماء بمعدل ٥ كجم/طن عند ضغط ٤ر٥ ضغط  
جوى فان ٢٠ ٪ من السليكون يتم تأكسده ( وهذه النسبة تعادل  
٥١ر٥ ٪ من الكمية الابتدائية ) ، ٥٥ر٥ ٪ من المنجنيز ( ٢٩ر٥ ٪ من  
الكمية الأصلية ) أما الفوسفور فقد وجد عمليا أنه لا يطرأ عليه أى تغيير .



شكل (٢١) : وحدة تصنيع الحديد الزهر فى البودق بمعالجتها بالاكسجين :

- |                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| ١ - بنكر الحجر الجيرى | ٢ - المنزى بالاضافات |
| ٣ - ودنة الاكسجين     | ٤ - الهوت            |
| ٥ - فادوس الرفع       | ٦ - العادم           |
| ٧ - الأتربة           |                      |

وإذا أضيف الى البودقة خليط من خام الحديد والحجر الجيرى بواقع  
١٥ كجم/طن من الحديد الزهر أدى ذلك الى زياده فى كمية الشوائب  
المزالة .

وبذلك ترفع نسبة السليكون المتأكسد الى ٧ر٦٦ ٪ ، والمنجنيز الى  
٤٠ ٪ من نسبتهما الأصلية ويتم النفخ خلال انبوبة فولاذية فطرها بوصة  
واحدة ومغمورة فى المعدن الموجود فى البودقة حتى عمق ١٥٠ - ٢٠٠ مم .

ومن الصعوبة بمكان ازالة الكبريت من الحديد التوماسى ولهذا كان  
لزاما أن تفصل به الى أقل نسبة ممكنة ودائما يحتوى الحديد الزهر  
التوماسى على كربون أقل مما يحتويه الحديد الزهر البسىمرى .

وتنحصر نقطة انصهار الحديد الزهر التوماسى بين ١٠٥٠ - ١١٠٠ م  
ويعمل ارتفاع نسبة الفوسفور به على زيادة سيولته مما يساعد على خلط  
الهواء بالمعدن جيدا .

#### ٤ - فترات النفخ المختلفة والتفاعلات التى

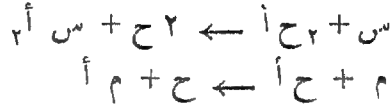
##### تحدث فى محول توماس

تغير التركيب الكيميائى للصلب والخبث أثناء مراحل النفخ المختلفة

يوضح شكل (٢٢) التغيرات المتوقعة فى تركيب الصلب والخبث  
كما يبين درجات الحرارة طوال عملية نفخ الهواء فى محول توماس .  
ويمكن تقسيم مراحل النفخ المختلفة الى ثلاث مراحل فرعية :

##### الفترة الأولى :

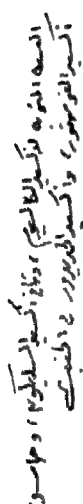
يشحن المحول بالجير الحى والخردة والحديد الزهر ثم يثبت فى وضع  
رأسى مع تشغيل هواء النفخ فتستهلك أولى الفترات فى عملية النفخ مع  
ظهور لهب قصير وضعيف الاضاءة وتشبه هذه المرحلة نظيرتها فى مراحل  
النفخ بمحولات بسمر حيث تختص بأكسدة المنجنيز والسليكون :



##### ويحدث هذان التفاعلات خلال الدقائق الأولى للنفخ :

ويتم أكسدة الكربون أيضا خلال هذه المرحلة ولكن بمعدل منخفض جدا  
يكاد يكون غير ملحوظ وذلك لانخفاض درجة الحرارة ويتكون خبث هذه  
المرحلة من م أ ، س أ ٢ ، ح أ كما فى المرحلة الأولى من النفخ فى محولات  
بسمر وتذوب فى الحديد المصهور نسبة ضئيلة من الجير الحى ( أكسيد  
الكالسيوم ) ويظل الباقى محتفظا بحالته الصلبة ومنفصلا عن الشحنة  
المنصهرة مما يؤدى الى احتواء الخبث على جزء كبير من سليكات الحديد  
التى تتكون نبعاً للمعادلة الآتية نطفو فوقها كتل الجير الحى :





وفي نهاية المرحلة الأولى تكون لدينا كمية كبيرة من الحرارة نتيجة لعمليات التأكسد وكذلك لكون الخبث مما ينجم عنه ارتفاع في درجة حرارة الشحنة ،

ونسنفرد هذه المرحلة نحو ثلاث دقائق ونحتوى الغازات البانجة عنها على حوالى ٧ - ١٢ ٪ من الأكسجين ، ١٠ ٪ من ثانى أكسيد الكربون ، ٨٠ ٪ من النيتروجين .

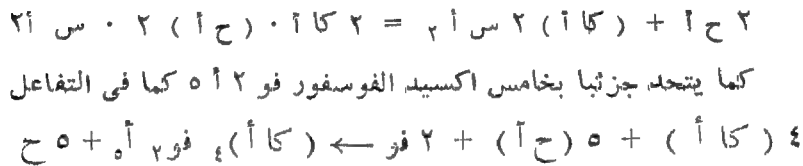
## ٢ - الفترة الثانية :

وننفرد هذه المرحلة بأكسيد الكربون متميزة بنمو سريع وواضح فى طول اللهب المنبعث من فوهة المحول مع وميض ونبض فى الأضواء لكنها تكون أقل اضاءة عن تلك التى فى حالة محول بسمر ويرجع هذا الى انخفاض نسبة السليكون فى سحنة بوماس عن نسبة السليكون فى سحنة بسمر السبب الذى يؤدى الى انخفاض نسبى فى درجة الحرارة كما أن التفاعل :  
ح أ + ك ← ح + ك أ الماص أيضا للحرارة يعمل على خفض درجة الحرارة أيضا .

وأثناء هذه الفترة يتأكسد الفوسفور أيضا بنسبة غير محسوسة ويمكن اهمالها ، وبارتفاع درجة الحرارة فى نهاية هذه المرحلة يتمكن أكسيد المنجنيز من الاختزال وهذا بديهى نظرا لأن تأكسد المنجنيز تفاعل طارد للحرارة وهذا لتعبل مناسب ومعقول يوضح سبب ارتفاع نسبة المنجنيز نائبة فى الصلب الناتج .

والمحتى الذى بين سلوك المنجنيز أثناء عملية النفخ يشبه تلك الحدية ( النى تنسه سنام الحمل ) وهذه الحادثة تمثل الارتفاع المفاجئ فى نسبة المنجنيز فى الصلب .

وتتوالى تساعا فى هذه المرحلة العمليات المختلفة لتكوين الخث فيبدأ الجبر فى الذوبان ويتحد بالسليكا كما فى التفاعل :



وبنما تزداد نسبة الجبر ك أ فى الخث تنخفض كمية السليكا فيه وعندما نصل الى نهاية المرحلة تبدأ شعلة اللهب فى الشحوب والقصر نتيجة لتأكسد معظم الكربون فقد يصل نسبة الكربون الى حوالى ٠.٥ ٪ .

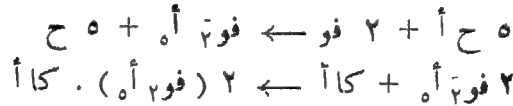
وبتحليل الغازات الناتجة فى أول المرحلة البانة من مراحل النفخ نجد أنها تحتوى على نسبة عالية من غاز أول أكسيد الكربون ك أ قد تصل الى



أكثر من ٣٠٪/ بينما نسبة ثاني أكسيد الكربون ك ٢١ لا تتعدى ٥٪ ونسبة النتروجين تكون تقريبا ٦٥٪/ وبالاقتراب من نهاية هذه المرحلة نجد أن نسبة أول أكسيد الكربون فقد انخفضت بشدة في الوقت الذي ترتفع فيه نسبة النتروجين التي تبلغ ٩٢٪/ ولا يظهر الأكسجين أى أثر في هذه التحاليل بينما يظهر وجود الهيدروجين في الغازات الناتجة ولو أن نسبته تكون ضئيلة جدا لا تتجاوز ٣٪/ ويكون ذلك نتيجة لتحلل الرطوبة الموجودة بهواء النفخ .

### ٣ - الفترة الثالثة :

المرحلة الثالثة والأخيرة هي المرحلة التي يتم فيها إزالة الفوسفور ، وعندما تكون كمية الكربون منخفضة تزداد كمية أكسيد الحديدوز في الخبث ويذوب الجير الحى في المحول بسهولة وتعتبر هذه أحسن الظروف لأكسدة الفوسفور واتحاده بالجبر كما في التفاعلات .



ومما هو واضح أن كمية كبيرة من الحرارة تتكون نتيجة لعمليات الأكسدة والخبث مما يعمل على رفع درجة حرارة المعدن ويزيد من سيولته، ويستمر النفخ في هذه الفترة حتى نحصل على النسبة المطلوبة من الفوسفور .

ويتخلل هذه الفترة عمليات تصحيح فنؤخذ عينة من المعدن داخل المحول ويكشف عن الفوسفور بمجرد النظر خلال نظارة خاصة ، وتحتاج هذه العملية الى خبرة طويلة .

وأثناء هذه الفترة تتأكسد كمية لا بأس بها من الحديد فتنبعث من فوهة المحول أبخرة بنسبة كثيفة من أكاسيد الحديد .

ويتخذ التنبؤ بالدرجة التي وصلت اليها عملية إزالة الفوسفور بمجرد النظر الى شعلة اللهب المنبعثة من فوهة المحول بل يمكن عمل تقدير مبدئي ذى دقة كافية لدرجة إزالة الفوسفور وذلك استنادا الى عملة التوقيت الزمنى بعد الفترة النائية مباشرة حيث يظهر بوضوح اختزال اللهب في هذه الفترة ويصبح الخبث مشبعا بخامس أكسيد الفوسفور وأكاسيد الحديد المختلفة بينما تنخفض نسبة ثاني أكسيد السيليكون وترتفع كمية الجبر الحى ( أكسيد الكالسيوم ) نسبيا .

أما الغازات المتصاعدة خلال هذه الفترة فتتكون أساسا من النتروجين كما يتصاعد أول وثاني أكسيد الكربون بنسبة ضئيلة .

ويتضح من ترتيب هذه الفترات استحالة بوقف عملية النفخ للحصول على صلب على الكربون لأنه في هذه الحالة سوف يحوى على نسبة عالية من الفوسفور ولكن يمكننا رفع نسبة الكربون بإضافة مواد مكرينة مثل الشبيجل .

## ٥ - إزالة الكبريت من محول

### توماس

إذا احتوى الحديد الزهر التوماسى على نسبة زيادة من المنجنيز ٨٪ فإن التفاعل الطارد للحرارة يحدث أثناء نقل الحديد الزهر الى الخلاط وأيضا فيه ويكون نتيجة لهذا تكون كبريتيد المنجنيز م ك ب وهذا المركب صحيح الذوبان فى الصلب عن كبريتيد الحديد ح ك ب أما فى المحول فلا توجد الظروف الملائمة لحدوث مثل هذا التفاعل .

وقد يتم إزالة الكبريت بتكوين كبريتيد الكالسيوم كا ك ب وذلك بنفاذ م ك ب . ح ك ب مع أكسيد الكالسيوم كا أ .

وبفحص ظروف الاتزان وتكوين كبريتيد الكالسيوم يتضح أنه لازالة الكبريت جيدا يجب أن يكون الحبث محبوا على كمية كبيرة من أكسيد الكالسيوم المفرد ، محتويا على كمية منخفضة من أكسيد الحديدوز ، وأكسيد المنجنيز .

وفى محول توماس عندما تقترب عملية النفخ من الانتهاء يبدأ الجبر فى الذوبان فى الحبث ويصبح عندئذ ذا أثر كبير عندما تكون نسبة الكربون منخفضة وكمية أكسيد الحديدوز بالحبث عالية وهذا يقيد ( أو يحدد ) درجة ازالة الكبريت وفى الصبة اللبينة بشكل ( ٢٢ ) لا تزيد درجة الازالة ٢٣٪ ) .

ولهذا السبب فانه لانتاج صلب منخفض الكبريت يجب اجراء عملية ازالة الكبريت على الحديد الزهر قبل صبه فى الخلاط أو المحول .

ويمكن ازالة الكبريت من الحديد الزهر بإضافة ( الصودا آس ) أو خليط يحتوى على الصودا ، الجبر ، الفلويت .

وقد أجريت عدد من التجارب لاختبار حقن الحديد الزهر التوماسى بالجبر الناعم بواسطة تبار من النتروجين وفى بودقة خاصة . وقد وجد أن الكبريت المحوى قد انخفض بنسبة ٩٠٪ خلال ثلاث أو أربع دقائق بينما تظل درجة الحرارة ثابتة .

## ٦ - خبث توماس

نظرا لارتفاع نسبة خامس أكسيد الفوسفور بخبث توماس فإنه بعد معالجته بطريقة خاصة يصبح نافعا لاستخدامه كسماد للأرض الزراعية وقد أوضحت الأبحاث أن خامس أكسيد الفوسفور هذا يكون مرتبطا بأكسيد الكالسيوم على هيئة ( كا أ ) ؛ ( فو ٢ أ هـ ) كما يحتوى الخبث أيضا على عدد من المركبات كا ٢ أ . س ٢ أ . كا أ . لو ٢ أ ولكي يكون الخبث مفيدا للتربة الزراعية كسماد يجب أن يحتوى على كمية مناسبة من السليكا . ولهذا فإنه أحيانا يضاف بعض رمل الكوارتز الى الخبث أثناء صبه في حبل الخبث ، ويجب أن تقل نسبة خامس أكسيد الفوسفور بخبث توماس عن ١٤ - ١٦٪ وعادة ما تكون النحالب الكيميائية النباتية لخبث توماس الناتج عن نفخ الحديد الزهر بالهواء في هذه الحدود .

ويقع تركيب خبث توماس عند نهاية النفخ بالهواء في الحدود التالية :

كا أ ٤٥ - ٥٠٪ ، س ٢ ٣٥ - ٦٪ ، فو ٢ أ هـ ١٦ - ٢٢٪ ، م ٤ - ١٠٪  
ح أ ١٢٥ - ١٧٪ ، لو ٢ أ ١ - ٢٪ ، مغ ٢٥ - ٦٪ كما هو موضح  
بجدول ( ١٢ ) .

جدول ( ۱۲ )

ترکیب الجیٹ %

۱ ک	۲ س	۳ س	۴ س	۵ س	۶ س	۷ س	۸ س	۹ س
۱ ک	۲ س	۳ س	۴ س	۵ س	۶ س	۷ س	۸ س	۹ س
۱ ک	۲ س	۳ س	۴ س	۵ س	۶ س	۷ س	۸ س	۹ س
۲۰۰۹	۰۹۳	۳۸۸۲	۱۷۷۷۲	۱۹۹۲	۴۱۹	۱۷۷۸۸	۵۱۷	۴۸۳۳۱
۲۰۰۴	۰۴۸	۲۸۸۹	۱۸۷۰۸	۱۹۵۷	۴۸۳	۱۷۷۵۷	۶۰۵	۴۷۸۸۲
۱۹۹۵	۰۵۸	۲۳۴۸	۱۳۳۹	۱۳۳۲	۴۳۲	۲۱۳۲۰	۴۸	۵۰۸۰

## ٧ - الانحرافات فى تشغيل محولات توماس

### وطرق علاجها

#### الانخفاض فى درجة حرارة الشحنة :

لا شك فى أن أهم المستلزمات للحصول على صلب بالمواصفات المطلوبة هو :

- ١ - حديد زهر ذو تحليل كيميائى ودرجة حرارة ثابتين .
- ٢ - توافر الجودة العالية فى الخام ، والجير ، والحردة .

وفى أثناء التشغيل يكون هناك احتمال كبير لحدوث الانحرافات المختلفة بالرغم من ثبوت العوامل المختلفة والظروف الأخرى . وفى كثير من الأحيان ترتفع درجة الحرارة داخل المحول كثيرا وبذلك تزداد الفرصة لهروب المقذوفات الحديدية وتناثرها خارج المحول . وفى أحيان أخرى تنخفض درجة الحرارة بشدة وفى هذه الحالة يفقد كسر من المعدن نسبة لصده عند هذه الحرارة المنخفضة .

ويرجع الارتفاع الشديد فى درجة الحرارة الى نواجد الشوائب ( السليكون ، منجنيز ، والفوسفور ) فى الحديد الزهر بكميات كبيرة وفى مثل هذه الظروف يكون من المناسب تصحيح الحرارة الى الدرجة المطلوبة باضافة كمية من الحردة ، والخام ، والنفايات المعدنية أو الجير .

وفى أغلب الأحيان يكون الارتفاع الشديد فى درجة حرارة الحديد الزهر وارتفاع نسبة أحد مجموعة الشوائب مرده الى حدوث بعض الأخطاء العارضة والتي يجب تلافيها .

واذا كان الارتفاع الشديد فى درجة الحرارة راجعا الى زيادة نسبة السليكون فى الحديد الزهر الشديد السخونة فإنه يمكن تبريد الشحنة الى الدرجة المطلوبة باضافة الحردة وبعض الجير أثناء الفترة النائية . وبعد عدة دقائق من النفخ يزال الحث المتكون ثم يضبط الحث الجديد بواسطة اضافة الجير وعندئذ تتمكن من ضبط درجة حرارة الشحنة وتلافى نتائج المقذوفات خارج المحول بسبب صغر حجم الحث .

واذا كان المنجنيز هو المسئول عن هذا الارتفاع فى درجة الحرارة أضيفت الحردة وحدها .

وزيادة نسبة الفوسفور تعمل على رفع درجة الحرارة فى الفترة النالنة

وفي هذه الحالة يكون التصحيح باضافة قطع صغيرة من الحردة والنفايات المعدنية حتى يتم انصهارها فى وقت قصير .

وأحيانا يكون التبريد خلال الفترة الثالثة بواسطة قوالب من النفايات المعدنية والجبر اذ أنه ليس من المنطق فى شىء اضافة الجبر فقط فى الفترة الثالثة لأنه باضافته يصبح الحث غايظا ( غليظ القوام ) ونزداد لزوجته مما يؤدى الى فقد كثير من الصلب الناتج نسجه لتصبه الحث له . . . . هذا بالاضافة الى ضخامة كمية الحث .

ومن المستحسن اضافة خام الحديد والنفايات المختلفة من عملبات الدرفلة بقصد تبريد الشحنة وذلك قبل الفترة الثالثة من فترات النفخ . وتنوقف الاضافات على درجة التسخين المطلوبة .

وباضافة خام الحديد والنفايات المعدنية قرب نهاية الفترة النائية تقلل نسبة النروجين الموجود بالصلب لأنها تعتبر مصدرا ثانويا للأكسجين اللازم لعمليات الأكسدة وعلى هذا الأساس يتحدد مدة النفخ تبعاً لكمية هذه الاضافات وبذلك تقل فرصة ذوبان النتروجين فى الصلب .

ويفضل اضافة النفايات المعدنية من خام الحديد حيث انها لا تحتوى على السليكا ويضاف الخام على هيئة كتل مناسبة فى الحجم حتى لا يتطاير بعيدا عن المحول أثناء النفخ .

### القصور الحرارى :

يرجع القصور الحرارى هذا الى انخفاض الحرارة الطبيعية والكيميائية للحديد الزهر والمقصود بالحرارة الكيميائية هو ما يحتويه الحديد الزهر من شوائب قابلة للتأكسد مثل السليكون - المنجنيز ، والفوسفور وتعالج مثل هذه الحالة باضافة السليكو شبيجل فى المحول فيتأكسد ما به من سليكون ومنجنيز وبذلك ترتفع درجة الحرارة .

أما اذا كان هذا القصور الحرارى نتيجة لاضافة الجبر بكميات كبيرة كان مناسبا اضافة الفيرو سليكون وعندئذ يتحد الجبر الزائد مع السليكا الناتجة ويصبح الحث أكثر سيولة .

ومما هو جدير بالذكر أنه اذا لم يكن الجبر قد تم تحميصه جيدا لتحليل الحجر الجيرى تماما أدى ذلك الى استهلاك كمية كبيرة من حرارة الشحنة فى هذا الغرض وانخفضت درجة الحرارة ولاستعمال مثل هذا الحجر يجب تأخير صب الحديد الزهر فى المحول بعض الوقت حتى يمكن استغلال بعض حرارة المحول فى تحميص الجبر المضاف جيدا ويجب أيضا اضافة بعض الاضافات المسخنة فى مثل هذه الحالة .

## ٨ - الطريقة الحديثة لإنتاج الصلب التوماسى

### منخفض النتروجين - منخفض الفوسفور

يختلف صلب توماس عن صلب الأفران المفتوحة اذ يحتوى على نسبة أعلى من النتروجين والفوسفور فيحتوى صلب نوماس المطاوع والذي نم صنعه بنفخ الهواء فقط على ٠.١٢ ر - ٠.٠٩ ٪ نتروجينا ( يحتوى صلب الأفران المفتوحة على ٠.٢ ر - ٠.١ ٪ نتروجينا ) ، ٠.٥ ر - ٠.٩ ٪ فوسفورا وهذه النسبة أقل من ٠.٣ ٪ فى صلب الأفران المفتوحة .

وجود مثل هذه الشوائب بالنسب المذكورة فى صلب توماس يكسبه كثيرا من الخواص التى تجعل ميدان استعماله ونظيقابه محدودا وضيقا فهو أكثر هشاشة عن صلب الأفران المفتوحة وقابليته للحام الكهربائى ضعيفة ومن الصعوبة تشكيله باردا .

ويمكن تلافى مثل هذه العيوب بتحفيض نسبة النتروجين الممتص فى الصلب أثناء النفخ والاقبال مما يحنويه من فوسفور . . ولقد أجريت أبحاث واسعة فى هذا المجال أدت الى وجود العوامل الآتية والتى لها التأثير المباشر والأساسى فى نسبة النتروجين الممتص بصلب نوماس .

١ - درجة الحرارة عند نهاية النفخ ، وقد وجد انه اذا كانت درجة حرارة الشحنة أثناء النفخ معتدلة فان الصلب الناتج يحتوى على نتروجين أقل عند نفس درجة الحرارة النهائية .

٢ - عملية النفخ .

بدئى أنه كلما قل زمن النفخ كلما قلت فرصة تلامس النتروجين والصلب .

٣ - معدل تأكسد الكربون : يناسب معدل ازالة النتروجين مع معدل احتراق الكربون .

٤ - ارتفاع الشحنة المنصهرة داخل المحول .

يفل ذوبان النتروجين فى الصاب كلما قل ارتفاع طبقة المعدن داخل المحول .

٥ - كمية النتروجين فى غازات المحول .

يمكن الحصول على صلب نوماس منخفض النتروجين بمراقبة الظروف المطلوبة ، وتستخدم الطرق الآتية فى مثل تلك الظروف :

- ( أ ) ضبط درجة الحرارة باضافة خام الحديد والنفايات المعدنية .
- ( ب ) استعمال النفخ الجانبى والسطحى واختزال عمق سطح المعدن فى المحول .
- ( ج ) استعمال خليط من الهواء والبخار فى النفخ .
- ( د ) نزويد هواء النفخ بالاكسجين .
- ( هـ ) استعمال خليط من الأكسجين والبخار فى النفخ .
- ( و ) استعمال خليط من الأكسجين ونانى اكسيد الكربون فى النفخ .

### ضبط درجة الحرارة باضافة خام الحديد والنفايات المعدنية :

يمتص الفولاذ الجزء الاكبر من النتروجين أثناء الفترة الأخيرة من فترات النفخ عندما ترتفع درجة الحرارة بحددة ويعدر الارتفاع فى نسبة النتروجين بمقدار ٠.٠٢ ر/ لكل ٥٥٠ م فى درجة الحرارة ارفاعا اذا استخدم الهواء فقط فى النفخ ، وعلى هذا الأساس فان ضبط درجة الحرارة عند نهاية النفخ كعامل أساسى وهام لاختزال نسبة النتروجين الدائبة فى الصلب الى أقل حد ممكن . ويمكن استخدام كل من الحردة – الجير – الحجر الجيرى – خام الحديد – النفايات كعوامل مبردة وكلما زادت الاضافات المبردة كلما قلت نسبة النتروجين عند ثبوت درجة الحرارة النهائية للعملية .

وباضافة خام الحديد أو النفايات المعدنية نحصل على نتائج أفضل لانه فى مثل هذه الحالة الى جانب الانخفاض فى درجة الحرارة فاننا نحتاج الى فترة نفخ أقصر بسبب اشتراك هذه المبردات فى مد الشوائب بما تحويه من أكسجين وتقل بعبا لذلك نسبة النتروجين فى الصلب الناتج . واستنادا الى درجة الحرارة أثناء النفخ وكمية السليكون بالحديد الزهر يمكننا تحديد كمية الحام والحردة التى يجب اضافتها وتراوح فى الغالب بين ٣ – ٨٪ من وزن الحديد الزهر سواء كان ذلك فى بداية النفخ أم خلاله . وننخفض نسبة النتروجين بالصلب بحددة خصوصا عند نهاية فترة اكسدة الكربون .

واذا كانت كمية المبردات المضافة كبيرة نسبيا فانه فى هذه الحالة يجب سطرها فسمين يضاف أولهما أثناء الفترة الأولى من فترات النفخ والثانى خلال فترة النفخ الثانية حتى نتلافى انخفاضا كبيرا فى درجة الحرارة عند نهاية النفخ .



ولقد ثبت أنه بإضافة ٥٠ كجم من هذه المبردات لكل طن من الصلب  
تقل نسبة النتروجين به ٠.٢٪ .

وبإضافة خام الحديد بكميات تتراوح بين ٢ - ٢.٢٪ من وزن الحديد  
الزهر قبل النفخ ، يزداد معدل احتراق الكربون ويقل تبعاً لذلك نسبة  
النتروجين ( فلا تزيد عن ٠.١٢٪ ) . والفوسفور أيضاً . ويعزى الانخفاض  
في نسبة الفوسفور الى سرعة تكون الحبيث عند اضافة خام الحديد وارتفاع  
نسبة أكاسيد الحديد به .

### طريقة النفخ المزدوج ( النفخ على مرتين ) :

وفي هذه الطريقة توضع ٥٠ - ٦٠٪ من الشحنة فقط في المحول  
بعد سحنه بكمية الجير اللارمة كلها ثم يبدأ النفخ بالضغط الكلي ويسنمر  
النفخ حتى تصل بالكربون الى نسبة ٠.٤ - ٠.٥٪ فيتوقف النفخ ثم  
تضاف كمية الحديد الزهر المتبقية وعندئذ تبدأ تفاعلات عنيفة بين الشوائب  
الموجودة بالحديد الزهر وبين الحبيث الغني بأكاسيد الحديد ونتيجة لهذا  
يزال الفوسفور جزئياً من الصلب المتكون وعندما نقل التفاعلات عنفاً يعاد  
النفخ مرة ثانية لمدة دقيقتين عند ضغط أقل من الضغط الأول .

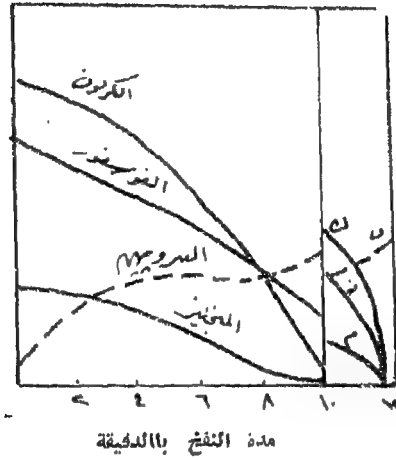
وعند نهاية النفخ في المرة الثانية تهبط كمية الفوسفور بنسبة  
٠.٤٥٪ .

ولما كان النفخ في المرة الثانية قد بدأ عند نسبة من الكربون عالية  
نسبياً لذا كانت كمية الحديد المفقودة من جراء التأكسد أقل منها في حالة  
النفخ بالطريقة العادية ( النفخ دفعة واحدة ) . فمثلاً اذا كانت التحاليل  
الحبيث المتكون بطريقة النفخ العادية هي : -

١٠٪ حديد ، ٥٪ منجنيز ، ١٧٪ خامس أكسيد الفوسفور فانه  
بتطبيق طريقة النفخ على مرتين تصبح التحاليل كالآتي : ٨.٥٪ من الحديد ،  
٤٪ من المنجنيز ، ١٧٪ فو ٢ ا ٥ .

ومن أهم مميزات هذه الطريقة انخفاض نسبة النتروجين بالصلب  
الناجى حبيث يتم النفخ في المره الاولى وارتفاع المعدن بالمحول فيكون  
الانخفاض للنصف وفي مدة زمنية أقصر اذا قورنت بالطريقة العادية .

ويبين الشكل رقم ( ٢٣ ) سلوك الشوائب أثناء تأكسدها بتطبيق  
طريقة النفخ المزدوج .



شكل (٢٣) : يبين أكسدة السبائك بالطريقة المزدوجة

### النفخ الجانبي والسطحي :

نقل مدة تعرض الحديد للهواء النفخ بانخفاض سطح المعدن في المحول وبالتبعية يقل ذوبان النتروجين في الصلب الناتج .

ولقد أثبت التجارب أنه عند انتهاء عمر بطانة المحول أي عندها تكون البطانة قد بدت تماما يقل النتروجين الممتص بالصلب .  
ولقد بات مؤكدا أنه بخفض سطح المعدن في المحول ١٠٠ مم تقل نسبة النتروجين في الصلب بمقدار ٠.٢٪ .

وفي النفخ الجانبي يدفع نيار الهواء في المحول تحت طبقة رقيقة من المعدن أو عند سطحه بالكاد ، ولهذا فان الجزء الاعظم من المعدن لا يكون اتصاله بهواء النفخ مباشرا . الأمر الذي من شأنه أن تكون فرصة ذوبان النتروجين بالصلب أقل .

وتتأكسد الغالبية العظمى من السبائك ناكسيدا غير مباشر اذ يقوم أكسيد الحديدوز منتشرا في شتى أنحاء المعدن بنقله ما يحمله من أكسجين لها ولهذا تستغرق عملية التأكسد هذه مدة أطول وتطول عممية النفخ .

فمثلا سينغرق عملية النفخ العاديه ( النفخ خلال قاع المحول ) ٢٦ ثانية لكل طن من الصلب الناتج بينما تستغرق في حالة النفخ الجانبي ٦٠ ثانية / طن صلب وبمعنى آخر تهبط سعة المحول الى النصف عموما .

ولقد جعلت الحرارة الزائدة والنانجه عن احتراق أول أكسيد الكربون في الامكان عمليا نفخ الحديد الى الدرجة المطلوبة لصب الصلب حتى لو احنوى الحديد الزهر على ٢ر - ٣٥ر % فوسفورا .

ومما يجب معرفته احتواء الحبث على نسبة من أكاسيد أعلى في حاله استعمال طريقة النفخ من خلال فاع المحول ، ولهذا فان عمالية ازالته الفوسفور تكون أكثر فاعالية ونجاحا باستخدام طريقة النفخ الجانبى لمحول نوماس في حالات خاصة وعندما تكون نسبة الفوسفور بالحديد الزهر حوالى ١٥ر/ فان الصلب الناتج يحتوى على فوسفور لغاية ٠٣ر/ دون اعادة عملية النفخ ، وبصيغة أخرى يزال الفوسفور أثناء حرق الكربون .

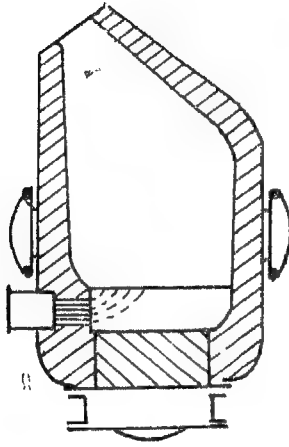
وقد أمكن في معظم الحالات ( ٩٨ % ) منها الوصول بالفوسفور في الصلب الى أقل من ٠٥ر/ اذا كانت نسبته أصلا في الحديد الزهر ٣٥ر/ دون اعادة عملية النفخ ولا تتعدى نسبته النتروجين في هذا الصلب ٠٠٩ر - ٠٠٤٦ر % .

وستستخدم هذه الطريقة من طرف النفخ بسجاح لنفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على التحاليل الآتية : -

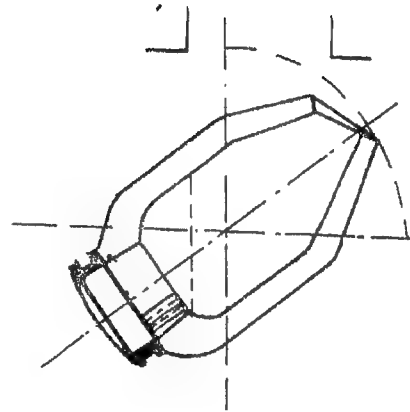
٠٩ر - ١٢ر % سيليكونا ، ١٣ر - ٢ر % منجنيزا ، ٢٥ر - ١٢ر/ فوسفورا ( وفى بعض الأحيان قد تصل نسبة الفوسفور الى ١٨ر/ ) .

ويمكننا النزول بنسبة النتروجين في المحول العادى بتنظيم فونيات دخول الهواء بكيفية خاصة وتشغيل هواء النفخ والمحول مائل .

ومثل هذا المحول موضح في شكل ( ٢٥ ) وتبلغ قطر قصبات الهواء ٢٥ مليمترا وتنظم في خمسة صفوف على جانب قاعدة المحول المقابل لآاه المحول وتبلغ نسبة النتروجين بالصلب الناتج في محول كهذا ٠٠٨ر/ أما الحديد فتصل نسبته في الحبث الى ٩% ويلاحظ شدة نثار المعذومات الحديدية خارج المحول وأثناء النفخ بالرغم من المميزات العديدة التى تنفرد بها هذه الطريقة فلا ندعش اذا لم يكن النجاح الكبير والانتشار الواسع من نصيبها اذ أننا اذا بحننا عن عمر المحول وسعنه وجدنا انخفاضا فيهما الى النصف .



شكل (٢٥) : يبين النفخ الدائبي  
في محول يسع ٢٠ طناً \*



شكل (٢٤) : يبين النفخ السطحي  
في المحول \*

### استعمال خليط من الهواء وبخار الماء في نفخ محول توماس :

يزود هواء النفخ بالأكسجين عندما يستبدل جزء من الهواء ببخار الماء ويحتوى المتر المكعب من البخار على ٧ كجم من الأكسجين بينما لا يحتوى المتر المكعب من الهواء على أكثر من ٣ كجم منه وبمعنى آخر فان بخار الماء يكون أغنى بالأكسجين من الهواء \*

أثناء النفخ يتحلل تماماً بخار الماء الموجود بالخبث ويستخدم الأكسجين الناتج عن هذا التحلل في أكسدة الكربون ولهذا نختزل الفترة النائية من فترات النفخ - فترة نزع الكربون \*

وبخار الماء ذو تأثير مبرد قوى وفعال فالحرارة المستنزفة لتحليل طن واحد منه تعادل الحرارة اللازمة لصهر ال ٤ طن من الحردة \* وتنخفض هذه الحرارة الى ما يعادل صهر ٣ طن من الحردة اذا ارتفعت درجة حرارة البخار الى ٣٠٠م \*

وكنوع من المقارنة يوضح جدول ( ١٣ ) الفرق بين الصلب الناتج بواسطة النفخ بالهواء والنفخ بخليط من الهواء وبخار الماء يزن المتر المكعب من البخار حوالى ٨ كجم ، ١٨ كجم من الماء يحتوى على ١٦ كجم من الأكسجين وعليه فان المتر المكعب من البخار يحتوى على

$$\frac{8 \times 16}{18}$$

= ٧ كجم من الأكسجين \*

جدول ( ١٣ )

النسبة المئوية للعناصر					
ن	كـب	فو	م	ك	
١٣ر	٠٣ر	٠٥٩ر	٢٦ر	٠٧ر	النفخ بالهواء
٠١٣ر	٠٣٧ر	٠٥ر	٣١ر	٠٦ر	النفخ بخليط من الهواء وبخار الماء
٠٠٧ر	٠٢٩ر	٠٣١ر	٣٢ر	٠٥ر	
٠٠٥ر	٠٣١ر	٠٣٨ر	٢٩ر	٠٥ر	
٠٠٧ر	٠٣١ر	٠٣٤ر	٣٢ر	٠٤ر	

وبمقارنة الطريقتين نجد أن نسبة الحديد في الخبت الناتج بالطريقة النائية تبلغ ١٠٪ مقابل ١٢٪ في الطريقة الأولى .

وفي هذه الطريقة النائية يصب الصلب الناتج عند درجة حراره أقل ١٥٤٠ - ١٥٦٠م مما يجعل من الصعوبة بمكان إمكانية الصب القاعى ، ونزداد كمية الفاقد من الصلب فيقل العائد في بواى الصب .

ويمتاز الصلب الناتج بهذه الطريقة بخواصه الميكانيكية التى تضارع الخواص الميكانيكية لصلب الأفران المفتوحة والتى لها نفس التركيب الكيمىائى .

هذا ولم يلاحظ أى تأثير ضار على خواص الصلب من جراء استعمال البخار الا أنها تقصر من عمر الفواقد .

#### ٩ - استعمال الأكسجين فى محولات توماس

باستخدام الأكسجين فى نفخ سحنة الحديد الزهر بمحول توماس يمكن من انتاج صلب يضاهى صلب الأفران المفتوحة من حيث انخفاض نسبة النتروجين والفوسفور به وأيضا من حيث الخواص الميكانيكية التى تتحكم فى عمليات التشغيل المختلفة .

واذا استغينا عن كمية من الهواء بأخرى من الأكسجين أو اذا نم النفخ طيلة الوقت أو لجزء منه فقط باستخدام خليط من الأكسجين النقى وبخار الماء أو نأى أكسيد الكربون أدى ذلك الى تحسن ملحوظ فى الموازنة الحرارية لانخفاض نسبة النتروجين فى الغازات المتصاعدة من المحول والى قصر وقت النفخ وزيادة الكفاءة الانتاجية لاستغلال كمية أكبر من الحردة وخام الحديد .

ومن مزايا هذه الطريقة أنها تسهل إزالة الفوسفور وتقلل من نسبة النتروجين بالصلب لدرجة كبيرة حيث أنه بارتفاع درجة الحرارة نتمكن من إضافة كمية مناسبة من خام الحديد والنفايات المعدنية كعوامل مبردة وقد يضاف الحجر الجيري عوضاً عن الجير .

هذه وتستخدم في وقتنا الحاضر طرق النفخ الحديثة الآتية لتحويل الحديد الزهر التوماسي :

- ١ - النفخ بالهواء المزود بالأكسجين .
- ٢ - النفخ بخليط من الأكسجين والبخار .
- ٣ - النفخ بخليط من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون .
- ٤ - النفخ العلوي باستخدام الأكسجين الخالص .

#### النفخ بالهواء المزود بالأكسجين :

يحتوي الهواء على ٢١٪ منه أكسجيناً ، ٧٩٪ نتروجيناً فإذا زيدت نسبة الأكسجين في الهواء الداخلة إلى ٣٠٪ أو أكثر انخفضت كمية النتروجين في هواء النفخ وبالتالي نقل كمية الحرارة المفقودة التي يحملها النتروجين معه خارج المحول .

وقد تملكنا الدهشة إذا علمنا أن الحرارة المفقودة بواسطة متر مكعب واحد من النتروجين تكفي لصهر ١٤٥ كجم من الخرقة بينما باستخدام ٣١ م<sup>٣</sup> من الأكسجين في النفخ نتمكن من صهر ٦٥ كجم من الخرقة .

ومميزات هذه الطريقة متعددة ويمكن حصرها فيما يلي :

١ - بارتفاع درجة الحرارة يذوب الجير في المعدن المنصهر ويتحد بالسليكا في فترات النفخ الأولى التي تتم في جو من الهدوء النسبي ويطول استخدام بطانة وقواعد المحول كما أن ارتفاع درجة الحرارة يسمح بإضافة كميات أكبر من الخرقة .

٢ - وبسبب الاتزان الحراري عند درجة من الحرارة عالية فإنه بارتفاع الأكسجين في هواء النفخ إلى ٣٠٪ نتمكن من نفخ الحديد الزهر مهما انخفضت نسبة الفوسفور به فمثلاً ١٩٩ - ٣٧٪ فوسفوراً ، ٢٤ - ٤٧٪ سليكوناً ، ٩ - ١٤٪ كما لا يكون لحرارته الطبيعية أى اعتبار في هذه الحالة .

٣ - تزداد سعة المحول نتيجة لنقص مدة النفخ .

٤ - ترتفع الكفاءة الانتاجية للصلب الجيد الناتج الى حوالى ٨٧-٨٨٪ ( مقابل ٨٦٪ فى حالة استخدام الهواء فقط فى النفخ ) وذلك بسبب انخفاض نسبة الحديد الضائع فى الخبث الى حوالى ١٢ - ١٣٪ ( بدلا من ١٣-١٤٪ فى حالة النفخ دون استخدام الاكسجين ) .

٥ - يساعد الارتفاع فى درجة الحرارة كثيرا على ازالة الكبريت .

٦ - يطرأ تحسن ملحوظ على خواص الصلب الناتج لانخفاض نسبة النتروجين به واذا ضبطنا درجة الحرارة بنجاح او بمعنى آخر اذا توقف تدفق الاكسجين عند الوقت المناسب أمكن النزول بنسبة النتروجين الى ٠.١٪ ( تتراوح النسبة بين ٠.٠٨ ر - ١٢ ر ٪ ) .

ويمكننا تقليل نسبة النتروجين عن هذا الحد باضافة النفايات المعدنية أو باستبدال جزء من الجير بجزء مناظر من الحجر الجيرى دون أن نخشى هبوط درجة الحرارة عن مستواها العادى فالأكسجين الموجود بهواء النفخ يقوم بتعويض الحرارة المفقودة .

وبتحليل الحجر الجيرى ( كربونات الكالسيوم ) ينبعث ثانى أكسيد الكربون الذى يتفكك بدوره الى أول أكسيد الكربون والاكسجين حيث يقوم الاكسجين بأكسدة الكربون ولهذا تنخفض كمية النتروجين فى هواء النفخ حيث يستعان بنانى أكسيد الكربون الناتج عن تحليل الحجر الجيرى بواسطة جزء من هواء النفخ وبالتسببة نقل مدة النفخ .

ومن الأهمية بمكان عدم استطاعة تطبيق هذه العملية فى حالة النفخ بالهواء فقط اذ أن عمليات التحلل السابقة تحتاج الى كمية هائلة من الحرارة .

والتبريد الناجم عن استبدال ١ كجم من الجير يساوى التبريد الناشئ عن اضافة ١٩ كجم من الخرقة ولهذا السبب أصبح من الضرورى زيادة نسبة الاكسجين فى هواء النفخ حتى نحافظ على كمية الخرقة المضافة .

ولخفض نسبة الفوسفور فى الصلب الناتج فى حالة النفخ بالهواء المزود بالاكسجين يزال فى بعض الأحيان الخبث الابتدائى ، ( المتكون أولا ) ثم يتكون خبث جديد وتضاف الصودا ثم يستمر النفخ لمدة وجيزة ( حوالى ٢٥ ثانية ) وحتى تتلافى التبريد الشديد نتيجة لاضافة وتحلل الصودا نرفق هذه الصودا باضافات أخرى كالكسليكو كالسيوم مشلا التى تمد المعدن بكمية وفيرة من الخرقة عند تأكسدها هذا الى جانب

ضبطها لقاعدية الخبث وذلك باتحاد السليكا المتكونة بأكسيد الكالسيوم .  
وقد يضبط الخبث بإضافة الصودا فقط اذا سمحت الحرارة بذلك .

وتصل نسبة الفوسفور الى حوالى ٠.٥٥٪ بالصلب قبل كشط  
الخبث الأصيل ثم تهبط هذه النسبة الى حوالى ٠.٤٠٪ بعد النفخ فى وجود  
الخبث الصودوى .

ويحتوى الخبث الثانوى على حوالى ١٥٪ من الحديد وهى نسبة عالية .  
نسبيا ولكن يمكن التغاضى عن كمية الحديد الضائعة فى الخبث .  
لضالة كميته .

وتحتل طريقة النفخ باستخدام الهواء المزود بالأكسجين المقام الأول  
فى وقتنا الحاضر للحصول على أجود أنواع الصلب فى محولات توماس  
وكقاعدة عامة فان نسبة الأكسجين فى الهواء المنفوخ تصل الى ٣٠٪ منه .  
وجداول (١٤) الآتى يعطينا فكرة عن نسبة النتروجين ،  
والفوسفور ، والكبريت فى الصلب استنادا الى طريقة النفخ ونوع  
الإضافات .

جدول (١٤)

كب	فو	ن ٢	
ر٠٣٥	ر٠٤٥	ر٠١٢-ر٠٠٩	النفخ بالهواء الجوى مع اضافة الخردة
ر٠٣٥	ر٠٤٥	ر٠٠٨	النفخ بالهواء المزود بالأكسجين لغاية ٣٠٪ مع اضافة الخردة ، والحديد أو الحجر الجيرى
ر٠٢٠	ر٠٢٥	ر٠٠٥	باستخدام الخبث الثانوى النفخ بخليط من الأكسجين والبخار
ر٢٠	ر٠٢٠	ر٠٠٢٥	

#### طريقة النفخ بخليط من الأكسجين والبخار :

من الواضح أنه بتخفيض الضغط الجزئى للنتروجين فى الغازات  
داخل المحول الى أقل درجة ممكنة يقل ذوبانه فى الصلب ويمكن جعل  
ضغطه الجزئى صفرا بالتخلص منه نهائيا فى هواء النفخ ولكن يجب أن



لا يغيب عن خاطرنا استحالة النفخ بالأكسجين الخالص خلال قاع المحول لأنه في هذه الحالة يرتفع معدل استهلاك القاعدة وودنات الهواء ارتفاعا حادا ويرجع هذا الى الارتفاع الزائد في درجة الحرارة عندما يندفع الأكسجين من فوهات النفخ الى المعدن ولهذا السبب يجب اضافة بعض الغازات الأخرى التي لا تحتوى على النتروجين الطبعي ، وحدينا يستخدم السخار وثاني أكسيد الكربون كمبردات في محولات توماس .

وعند استعمال مثل هذا الخليط من الغازات ( أكسجين + بخار ) فان حوالى ٣٠٪ من البخار يمر خلال المعدن دون أن يتحلل ولا يشترك بأى نصيب في عملية النفخ ( ولا يكون له أى دور يذكر في هذه العملية ) بيد أن ما يحمله من حرارة أثناء مغادرته المحول يعتبر الدور الوحيد الذى يقوم به اما ما تبقى من البخار ( حوالى ٧٠٪ منه ) فانه يتحلل الى عنصريه : الأكسجين والايديروجين مستهلكا لذلك طاقة حرارية هائلة .

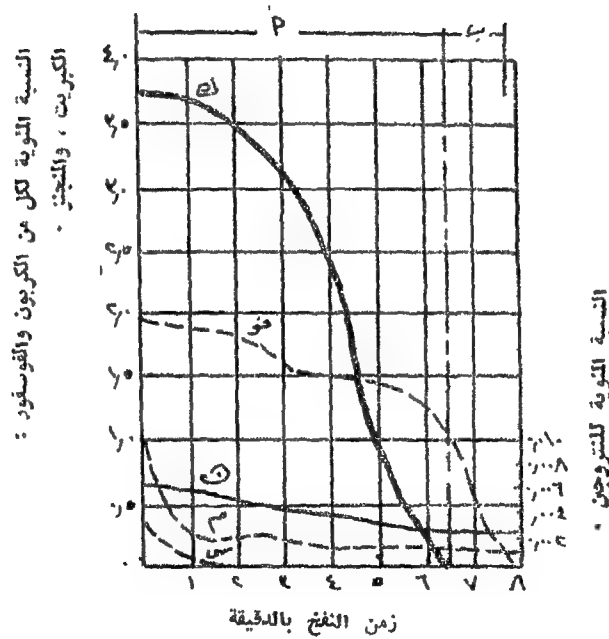
ولقد أثبتت الشواهد من وجهة النظر الحرارية أن ١ كجم من البخار تعادل من حيث تأثيرها فى التبريد وزنا من الخردة يقدر بحوالى ٦٨ كجم .

وتساوى حراريا خليط يحتوى على ٦٠٪ منه أكسجينا والباقي بخارا ساخنا مع النفخ واستنتاجا لما سبق فانه كلما كانت نسبة البخار فى الخليط أقل كلما أمكن صهر كمية من الخردة أكبر .

وتعتمد درجة امتصاص الصلب للنتروجين على درجة نقاء الأكسجين ونادرا ما تزيد عن ٨ - ١٠٪ وعليه فان نسبة النتروجين بالصلب المصنوع بهذه الطريقة تتغير فيما بين ٠.١٥ - ٠.٠٤٪ وبمعنى آخر فان هذه النسبة تكون أقل من تلك الموجودة فى حالة صلب الأفران المفتوحة .

ويبين شكل ( ٢٦ ) المغبرات التى تطرأ على التركيب الكيميائى للصلب أثناء نفخ الحديد بخليط من الأكسجين والبخار .

وقد وجد أنه أثناء فترة احتراق السليكون والمنجنيز تتم أيضا ازالة الفوسفور ولكن بدرجة أقل . وينتهى احتراق الكربون بعد حوالى ٦-٥ دقائق وعندئذ تبدأ عملية ازالة الفوسفور ويستمر النتروجين الذائب فى الصلب فى الانخفاض طيلة فترة النفخ كلها .



شكل (٢٦) : الغازات التي تطرا على تركيب الحديد الزهر في محول توماس أثناء النفخ  
بخليط من الأكسجين والبخار .  
أ - أكسدة الكربون      ب - اذالة الفوسفور

وباستعمال خليط من الأكسجين والبخار فى النفخ مساويا  
١٢ : ١١ : ١٤ تتراوح نسبة النتروجين فى الصلب ٠.٣٪ .

وفى هذه الطريقة تتم ازالة الفوسفور بنجاح وسرعة عما اذا  
استخدمنا الهواء أو الهواء المزود بالأكسجين فى النفخ وتغير مدة النفخ  
 باختلاف كمية الأكسجين الداخلة الى المحول فى وحدة الزمن .

وبمقارنة الكفاءة الانتاجية لمحول سعة ١٦ طنا فى الطرق الثلاث  
 نجد أن سعته فى حالة النفخ فى الهواء لا تزيد عن ١١ طنا / دقيقة بينما  
تصل هذه السعة الى ١٥ طنا / دقيقة اذا كان النفخ بالهواء المزود  
بالأكسجين ( استهلاك الأكسجين ٣٢٧ طن / طن ) فى حين تبلغ ١٩ طنا /  
دقيقة اذا استعمل خليط الأكسجين والبخار فى النفخ .

ومن ناحية الخواص الميكانيكية للصلب الناتج فلا نضع فى حسابنا  
أى خوف من تأثير الهيدروجين الضار عاينها ، فقد ثبت هذا عمليا بما  
لا يدع مكانا للشك ومما يشجع على اتباع هذه الطريقة ذلك الهواء الذى

يسيطر على النفاعلات طوال عملية النفخ فمهما ارتفعت نسبة السليكون في الحديد الزهر فلن يزيد ذلك من المقذوفات المتناثرة خارج المحول ويرجع هذا الى الصغر النسبى فى حجم وسرعة الغازات المارة خلال شحنة الحديد بالمحول .

كما يمكن نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من السليكون دون اجراء عملية الازالة مقدما قبل النفخ .

ويمكن تميز شعلة اللهب المتكونة فى حالة تطبيق هذه الطريقة عن تلك المتكونة فى الطريقة العادية باضاءتها الساطعة الناتجة عن احتراق الابدروجين واختفاء الأبخرة الداكنة المصاحبة لها .

ولا تقل درجة حرارة الغازات المتصاعدة عن ١٣٠٠° م اذ تتراوح بين ١٢٠٠ - ١٥٠٠° م وتتساوى قوة تحمل البطانة باستخدام هذه الطريقة مع تلك التى يستخدم فيها خليط الهواء والاكسجين ويمكن اطالة عمر القواعد المصنوعة من الدولوميت بتركيب قصبات من النحاس .

وبحساب الموازنة الحرارية بين كمية الحرارة المتولدة من احتراق الشوائب فى الحديد الزهر وكمية الحرارة المفقودة نجد أنه يكاد يكون مستحيلا استخدام الهواء فقط فى تحويل الحديد الزهر اذا كان منخفضا فى نسبة الفوسفور حتى يصل الى درجة الحرارة المناسبة لصب الصلب فى حين أنه لاتصادفنا أبة صعوبة فى تحويل نفس الحديد الزهر اذا استعملنا خليطا من الأكسجين والبخار بل يمكننا تحويل الحديد الزهر الذى له نفس المواصفات للحديد المستخدم فى الأفران المفتوحة .

ولقد ظلت تلك الدراسات مجرد أبحاث نظرية ثبت صحتها وتأكدت صلاحيتها حتى أنتت الأبحاث العملية والتجارب الواقعية بالدليل القاطع وحسمت الموقف بما لا يدع مجالا للشك .

فلقد أصبح يقينا امكانية نفخ حديد زهر الأفران المفتوحة الذى يحتوى على ٧٨° - ١٤٪ فوسفورا ، ٧° - ١٪ سليكونا ، ٧-١١٪ منجنيزا وتصل نسبة الكبريت به الى ٠.٥٪ باستخدام خليط من الأكسجين والبخار فى النفخ فى مصانع اناكيفر للحديد والصلب . ويصل استهلاك الجبر الذى يحتوى على حوالى ١٥٪ من وزنه جيرا غير تمام الاحتراق ( حجر جبرى ) الى ٣ - ٧٧٪ من وزن الحديد الزهر بنما يكون استخدام الأكسجين واقع ٦٥ - ٨٠ م / ٣ دقيقة ( ٤٥ - ٦٠ م / ٣ طن ) ، ٣٠ - ٣٥ كجم / دقيقة من بخار الماء أى أن كمية الأكسجين المنفرد تتراوح بين ٦٥ - ٨٠٪ وزنا .

ويستحسن عند استخدام هذه الطريقة أن يبطن المحول بطوب الكرومجنزيت ويلزم لنفخ شحنة من الحديد الزهر زنها ١٣٥ - ١٤٥ طنا مدة تتراوح بين ٦٣٨ - ١٢ دقيقة وفي حوالى ٥٠ ٪ من هذه الحالات تقل مدة النفخ عن ٨ دقائق .

ومما هو جدير بالذكر أن معدل تحول الحديد الزهر الى صلب يرتفع نسبيا باستخدام هذه الطريقة اذ يصل الى ١٢ - ٢١ طنا/دقيقة .

واذا كان لنا أن نضع رقما عمليا لنسبة النتروجين الذائب فى الصلب المصنوع بهذه الطريقة فانه فى المتوسط لا تزيد هذه النسبة عن ٠.٢١ ٪ اذ تتراوح بين ٠.٠١ - ٠.٠٥ ٪ ويعتبر هذا الرقم قياسا ومثل هذا الصلب يحتوى على ٠.٢٨ ٪ من الاكسجين .

ويكون التركيب الكيميائى للخبث فى النهاية كما يأتى :

١١ - ١٢ ٪ ح أ ، ٢٧١ - ٥٧٨ ٪ ح ب ، ٦٨٦ - ٨٠٤ ٪ م أ ، ١٣٧ - ١٩٢ ٪ س أ ، ٣٢٩٨ - ٤٢ ٪ كا ، ٩٤ - ٢١٩ ٪ فو ٢ أ .

أما تحليل الغازات ( باستبعاد النتروجين ) فيكون كالاتى :

٣٦ ٪ ك أ ، ٧٧ ٪ ك أ ، ٢١ ٪ ك ب ، ٣٣ ٪ كا ، ١٢٣ ٪ يد ٢

وباستخدام خليط من الاكسجين والبخار فى النفخ نحصل على الميزات الآتية :

- ١ - امكانية نفخ الحديد الزهر دون النظر الى نسبة الفوسفور به .
- ٢ - السعة الانتاجية للمحول تكون أكبر منها فى الطرق الأخرى .
- ٣ - تحتوى الغازات المتصاعدة على نسبة أقل من الأبخرة الداكنة . . . ولذا فهى لا تحتاج لأجهزة خاصة لتنقيتها .

٤ - بضاهى الصلب المصنوع بهذه الطريقة صلب الأفران المفتوحة فى خواص ولاسيما فى قلة احتوائه على النتروجين .

أما عيوب هذه الطريقة فتتجلى فى ارتفاع نسبة الحديد الضائع فى الخبث كما أنه لا يمكننا استغلال كمية كبيرة من الخردة هذا اذا قورنت بطريقة النفخ بالاكسجين الخالص من أعلى .

### النفخ بخليط من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون :

يضاف غاز ثاني أكسيد الكربون كعامل مبرد اذ يتطلب تحليل الكيلوجرام الجزيئى منه كمية من الخردة تعادل ٦٦٥٦٠ سعرا حتى يتحلل الى أول أكسيد الكربون والأكسجين أى أنه لتحلل ٣م١ من ثاني أكسيد الكربون يلزم له كمية من الحرارة تساوى

$$\frac{66560}{224} = 3000 \text{ سعرا}$$

حيث : ٣م٢٢٤ = حجم الكيلوجرام الجزيئى من ثانى أكسيد الكربون .

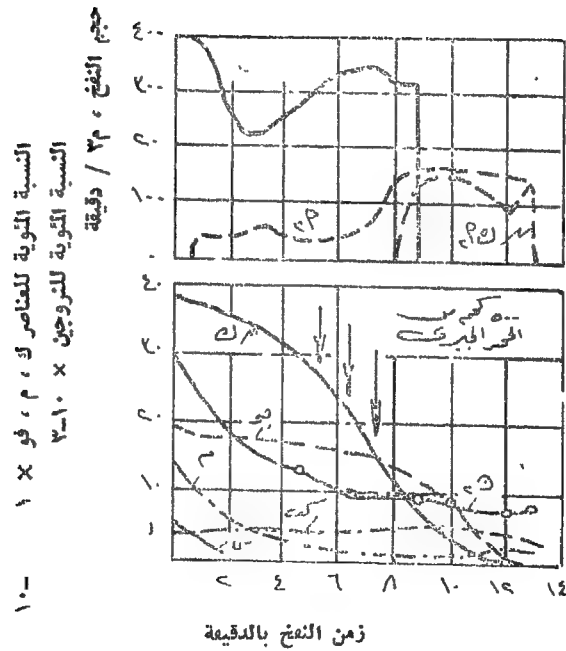
ولقد ثبت بالتجربة أن ٩٠٪ من ثانى أكسيد الكربون يتحلل باستعمال خليط منه والأكسجين فى النفخ ويفوق ثانى أكسيد الكربون البخار من ناحية التبريد وقد افترض أن ٣م١ من ثانى أكسيد الكربون يكافئ ٩٢٠ كجم من الخردة فى تأثيره المبرد .

وفى العادة يستعمل ذلك فى فترات النفخ الأولى ثم عند نهاية الفترة التى يتأكسد فيها الكربون يصير النفخ بخليط من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون . ويمكن ضبط درجات الحرارة والسيطرة عليها بالتحكم فى كمية غاز ثانى أكسيد الكربون المندفعة الى المحول عند ثبوت معدل الأكسجين المنفوخ فى الخليط .

ويلاحظ أن شعلة اللهب عند فوهة المحول تكون ساطعة الاضاءه جدا لارتفاع نسبة غاز أول أكسيد الكربون اذ تبلغ نسبته فى الغازات المتصاعدة ٥٥٪ وتقل نسبة النتروجين فى الصلب الى ٠.٣٪ .

ويبين شكل (٢٧) طريقة النفخ فى محول توماس باستخدام خليط من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون . ويكون النفخ خلال ثمانى الدقائق الأولى بخليط من الهواء والأكسجين وبعد ذلك حتى النهاية يكون النفخ بخليط من الأكسجين ، ك٢١ بنسبة ١ : ١ الى ١ : ١٤ .

وسوف نتناول بالشرح والتحليل فيما بعد طريقة النفخ بالأكسجين الخالص للحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور .



شكل (٢٧) : يوضح طريقة النفخ في محول توماس باستخدام خليط من الأكسجين ونافى أكسيد الكربون .

#### ١٠ - خواص واستعمالات صلب توماس

أصبح ميدان استخدام صلب توماس الذى ينتج بالطرق العادية محدودا وبالرغم من هذا فإنه من الممكن استخدامه بنجاح فى صناعة الأدوات الحديدية التى تتطلب لدونة عالية ومقاومة كبيرة للتآكل وقابلية كبيرة للتشغيل .

ويمكن لحام هذا النوع من الصلب بواسطة اللحام التراكبى ولهذا فهو يستخدم بكثرة فى صناعة الشرائح اللازمة لصناعة الأنابيب الملحومة .

ويستخدم هذا الصلب أيضا فى صناعة القطاعات الجانبية للمنشآت كما يستخدم فى صناعة الألواح والصفائح التى يجرى تشكيلها على البارد ، والقضبان ، والأسلاك وغيرها من المنتجات الأخرى .

وباستخدام الأكسجين فى صناعة صلب توماس أصبح منافسا لصلب الأفران المفتوحة فى الخواص والجودة ويمكن استخدامه على نطاق واسع فى كثير من المجالات الصناعية فمثلا لا يختلف عن الصلب الفوار

المصنوع في المحولات دنفخ الحديد الزهر بخليلع من الهواء والاكسجين وبخار الماء في جوده عن الصلب القوار المصنوع في الأفران المفتوحة ولذلك فهو يستخدم في صناعة الألواح والصفائح والألواح اللازمة لعمليات التشكيل المخبنة كالسفن والدرفلة الى سرائط سواء بطرق الدرفلة على الساخن أو على البارد .

كما يدخل في عمل الأنابيب - والأسلاك والمسامير وغيرها . . . .  
وينفرد هذا النوع من الصلب ببعض المزايا فمثلا يمكننا سحب أعواد الصلب التي قطرها ٥ سم الى أسلاك رفيعة يبلغ قطرها ٠.٣٠ - ٠.١٩ مم دون حاجة الى اجراء عملية نلدين متوسطة بينما نضطر الى اجراء هذه العملية اضطرارا عند استخدام صلب الأفران المفتوحة في عمل هذه الأسلاك .

وتمتاز المنتجات المصنوعة من هذا النوع من الصلب بخلوها من أي شقوق أو عيوب مناسبة تحط من جودتها .

وباجراء اختبارات السني والقابلية للحام على هذا الصلب كانت النتائج طيبة ومرضية وعلى وجه العموم فانه بتطبيق الطرق الحديثة في صناعة صلب توماس تحسنت جودته بدرجة ملحوظة واتسع مجال استعماله في حياتنا العملية الى حد كبير .

## ١١ - الموازنة المادية والحرارية لشحنة توماس

### أولا : الموازنة المادية

يوضح الجدول الآتي البيانات اللازمة لحساب الشحنة :

#### جدول ( ١٥ )

العناصر %					
ك	س	م	فو	كب	
٣٣٥ر	٣٠ر	١	٢	٧ر	الحديد الزهر
٥ر	-	٠.٢	٠.٠٦	٥ر	الصلب الناتج
٣ر ٣	٣٠ر	٨ر	١٩٤ر	٢ر	كمية العناصر المؤكسدة

هذا بفرض أن ( ١ ) % الكربون قد تحول الى ثاني أكسيد الكربون والباقي ( ١/٢ % الكربون ) قد تحول الى أول أكسيد الكربون .

٢ - الفاعد من الحديد ٢ %

٣ - اشترك ٢ % من وزن بطانة المحول لتكوين الخبت

٤ - التركيب الكيميائي للدولوميت :

مغ أ	كا أ	لو ٢	س أ ٢
٣٦٥ / %	٥٩ /	٢ %	٢٥٥ / %

٥ - التركيب الكيميائي للجير الحى ( أكسيد الكالسيوم )

ك أ ٢	كا أ	لو ٢	س أ ٢
٤ %	٩٣ %	١ /	٢ /

هذا مع العلم بأن الكبريت قد أزيل على شكل كبريتيد المنجنيز الذى يتحول الى كبريتيد الكالسيوم ( حوالى ٠٢ % من الكبريت قد أزيل )

إذا / كمية المنجنيز التى ترتبط بكمية الكبريت الموجودة لتكوين كبريتيد المنجنيز :

$$= \frac{55 \times 0.2}{32} = 0.34 \text{ ر } \% \text{ من المنجنيز}$$

أما باقى المنجنيز الذى تأكسد = ٨ ر - ٠٣٤ ر = ٧٦٦ ر %

ولسهولة العمليات الحسابية نعبر ١٠٠ كجم من الشحنة :

حساب الأكسجين اللازم لأكسدة الشوائب والأكاسيد الناتجة :

وزن الكربون الذى تأكسد الى ثانى أكسيد الكربون =

$$25 \times 33 = 825 \text{ ر كجم}$$

وزن الكربون الذى يتأكسد الى أول أكسيد الكربون =

$$75 \times 33 = 2475 \text{ ر كجم}$$

والجدول الآتى يوضح كمية الأكسجين اللازمة لأكسدة الشوائب

المختلفة :



جول ( ١٦ )

وزن الأكاسيد الناتجة كجم	الأكسجين المطلوب / كجم	المركبات	وزن الشوائب المطلوب ازالتها
٢٠٢٥	$٢٢ = \frac{٢٢}{١٢} \times ٨٢٥$	ك آ ٢	ك ٨٢٥٠
٥٧٧٥	$٢٣ = \frac{١٦}{١٢} \times ٢٤٧٥$	ك آ ١	ك ٢٤٧٥
٠٦٤٠	$٣٤ = \frac{٢٢}{٢٨} \times ٣$	س آ ٢	س ٣٠
٤٤٤٠	$٢٥ = \frac{٨٠}{٦٢} \times ١٩٤$	فوز آ ٢ هـ	فو ١٩٤
٠٩٨٦	$٢٢ = \frac{١٦}{٥٥} \times ٧٦٦$	م آ ١	م ٧٦٦
٠٠٥٤	$\text{---}$	م كب ٢	م ٣٤٠
٢ ٥٧	$٥٧ = \frac{١٦}{٥٦} \times ٢٠$	ح آ ١	ح ٢٠٠
	٩١٣	الفاقد أثناء النفخ ٨٣٤ =	

ولتبسيط العمليات الحسابية التالية ، دعنا نتغاضى عن كمية الرطوبة الموجودة بهواء النفخ ، ولنفرض تركيب الهواء وزنا كالتالى : -

$$٢٣٣٢\% \text{ أ } ٢٠٨٧\% \text{ ن } ٢$$

$$\text{إذا / كمية الهواء اللازمة لأكسدة الشوائب} = \frac{٩١٣}{٢٣٣} = ٣٩٣٥ \text{ كجم}$$

$$\text{وساوى أيضا} = \frac{٣٩٣٥}{١٢٩} = ٣٠٥ \text{ م } ٣$$

وذلك لكل ١٠٠ كجم من الحديد الزهر

إذا / نظريا يلزم لكل طن من الحديد الزهر ٣٠٥ م ٣ من الأكسجين

$$٣٣٠٥ = \frac{١٠٠}{١٠٠} \times ٣٠٥ =$$

ومن الواضح أن كل ٣٩٣٥ كجم من الهواء نحتوى على ٩١٣ كجم أكسجين ، ٣٠٢٢ كجم نيتروجينا فيمكننا حساب وزن الهواء النفخ كما يأتى : -

$$\begin{aligned} & ١ \text{ م } ٣ \text{ من هواء النفخ يصبح محنويا على } ٣٠\% \text{ أ } ٢٠\% \text{ ، } ٧٠\% \text{ ن } ٢ \\ & \text{ويصبح وزن الأكسجين} = ( ٣٠ \times ١٢٩٤٣ + ٧٠ \times ١٢٥ ) \\ & = ١٣ \text{ كجم} \end{aligned}$$

$$\text{فى هذا الخليط} = \frac{٣٠ \times ١٢٩٤٣}{١٢٣} \times ١٠٠ = ٣٣\%$$

إذا / كمية الخليط من الهواء والأكسجين المطلوب

$$= \frac{٩١٣}{٣٣} = ٢٧٧ \text{ كجم}$$

$$= \frac{٢٧٧}{١٢٣} = ٢١٣ \text{ م } ٣$$

( = ٢١٣ م ٣ لكل طن من الحديد الزهر )

ويحتوى ٢٧٧ كجم من هواء النفخ المزود بالأكسجين على ٩١٣ كجم من الأكسجين ، ١٨٥٧ كجم من النتروجين أى أقل بكثير من حالة الهواء المنفوخ فقط .

وفى حالة النفخ بخليط من الأكسجين وبخار الماء يحتوى على ٦٠\%

وزنا من الأكسجين ذى نقاوة نصل الى ٩٢٪ ، ٤٠٪ بخار ماء فان ١ كجم من هذا الخليط تحنوى على : -

$$٠.١ ( ٦٠ \times ٩٢ + ٧ \times \frac{١٦}{١٨} ) = ٨ \text{ كجم أكسجين}$$

وهذا بفرض أن ٧٠٪ من بخار الماء ينحلل الى عنصريه .

$$\frac{١٨}{١٦} = \text{نسبة وزن الأكسجين فى بخار الماء}$$

وفى هذه الحالة نكون نسيجه التحليل ٠.٣ كجم من الهيدروجين لكل كجم من الخليط .  
إذا / وزن خليط الأكسجين وبخار الماء اللازم لتكوين ٩٣١ كجم من الأكسجين : -

$$= \frac{٩١٣}{٨} = ١١٤ \text{ كجم}$$

ويكون فى النهاية لدينا التحليل الآتى :

أكسجين	٩١٣ كجم
بخار ماء لم يتحلل	١٣٧ كجم
هيدروجين	٣٤ كجم
نتروجين	٥٦ كجم

ويبلغ وزن المتر المكعب من خليط الأكسجين وبخار الماء ١١٢ كجم ويمكن التوصل الى هذه النتيجة كما يلى : -  
١٠٠ كجم من الخليط تشغل حجما قدره

$$٣م ٨٨٨٤ = \frac{٤٠}{٨٠٤} + \frac{٨}{١٢٥} + \frac{٥٥٢}{١٤٣}$$

حيث :

١٤٣ = وزن ١ م ٣ من الأكسجين

١٢٥ = وزن ١ م ٣ من النروجين

٨٠٤ = وزن ١ م ٣ من بخار الماء

$$\text{إذا / كثافة الخليط} = \frac{٨٨٨٤}{١٠٠} = ١١٢ \text{ كجم / م}^٣$$

$$\text{إذا / حجم الخليط المطلوب} = \frac{١١٤}{١١٢} = ١.٠٢ \text{ م}^٣$$

أى أن ١.٠٢ م<sup>٣</sup> هو الحيز الذى يشغله ١ طن من الخليط

### تعيين التركيب الكيميائي للخبث

يحتوى الخبث على ٢ % سليكا  
نسبة أكسيد الكالسيوم اللازمة للاتحاد بالسليكا لتكوين المركب =  
٢ كا ١ س ٢

$$= ٠.٢ \times \frac{١١٢}{٦٠} \times ١٠٠ = ٣٧٤\%$$

نسبة كا ١ المنفردة في الجير = ٩٣ - ٣٧٤ = ٨٩٢٦ %  
إذا / وزن أكسيد الكالسيوم اللازم للاتحاد بالسليكا وخامس  
أكسيد الفوسفور اللازم أيضا لعملية ازالة الكبريت  
اللازمة للاتحاد بالسليكا لتكوين ٢ كا ١ س ٢ =

$$= \frac{١١٢ \times ٦٤}{٦٠} = ١٢ ر كجم$$

اللازمة للاتحاد بخامس أكسيد الفوسفور ٤ كا ١ ، فو ٢ أ ٥ =

$$= \frac{٢٢٤ \times ٤٤٤}{١٤٢} = ٧ كجم$$

اللازمة للاتحاد بالكبريت كا ٢ =  $\frac{٠.٢ \times ٥٦}{٣٢} = ٠.٣٥ ر كجم$

الوزن الكلى ٨٢٣٥ كجم

$$\text{إذا / وزن الجير اللازم} = \frac{٨٢٣٥}{٨٩٢٦} = ٩٠.٢٢ ر كجم$$

ولكن الجير يحتوى على شوائب أخرى يمكن حساب أوزانها كما  
يأتى :

$$\text{وزن السليكا} = ٩٢٢ \times ٠.٢ = ١٨٤ ر كجم$$

$$\text{وزن الألومينا} = ٩٢٢ \times ٠.١ = ٩٢ ر كجم$$

$$\text{وزن أكسيد الكالسيوم} = ٩٢٢ \times ٩٣ = ٨٥٧٤ ر كجم$$

ويكون نصيب بطاقة المحول في الاشتراك في انتاج مثل هذه

الشوائب كالآتى :

$$\text{وزن السليكا} = ٢ \times ٠.٢٥ = ٠.٥ ر كجم$$

$$\text{وزن الألومينا} = ٢ \times ٠.٢ = ٠.٤ ر كجم$$

$$\text{وزن أكسيد الكالسيوم} = ٥٩ \times ٢ = ١١٨ ر كجم$$

$$\text{وزن الماغنسيوم} = ٣٦٥ \times ٢ = ٧٣ ر كجم$$

ويمكن تنسيق ما سبق فى جدول كالآتى :

جدول ( ١٧ )

النسبة المئوية	الوزن الكلي	وزن المكونات من بطانة الحول / كجم	وزن المكونات من أكسيد الكالسيوم كجم	وزن المكونات نتيجة أكسدة الشوائب	المكونات
٤٥ر	٨٧٤ر	٥٥ر	١٨٤ر	٦٤ر	٢١ س
٦٦ر	١٣٢ر	٥٤ر	٩٢ر	-	٢٢ لو
٥٠	٧٥٤ر	١١٨ر	٥٧٤ر	-	٢٢ كا
٣٧٤ر	٧٣ر	٧٣ر	-	-	١ مع
٢٢٧٥	٤٤ر	-	-	٤٤ر	٢ فو
٥٥ر	٩٨٦ر	-	-	٩٨٦ر	٢ م
١٣٢ر	٥٧ر	-	-	٥٧ر	٢ ح
٥١ر	٠٢ر	-	-	٠٢ر	١ كب
٪١٠٠	١٩٥٠٦	الاجموع الكلي			

## تركيب الغازات

هواء النفخ ك ٢ أ ٣٠٢٥ كجم

من الحجر الجيري :

$$\text{كجم} \quad 21 = 0.1 \times 9.22 \times 4 = 0.37 \text{ كجم}$$

## ثاني أكسيد الكربون الكلي

$$\% ٥٦٦,٠٠٠ \text{ م } ١٧٣ = \frac{٢٢٤ \times ٣٣٩٥}{٤٤} = ٣٣٩٥ \text{ كجم}$$

$$\frac{22.4 \times 5775}{28} = 4562.5 \text{ م}^3 = 1 \text{ كج} = 5775 \text{ كج}$$

$$\%79.20003242 = \frac{22.4 \times 30.22}{18} = 30.22 \text{ كجم} = 2 \text{ ن}$$

المجموع	٣٩٣٩ كجم	٣٠٥٥ م٣	١٠٠٪
---------	----------	---------	------

وعندما تكون درجة تزويد الهواء بالأكسجين مساوية ٣٠٪ يصبح

تفویض الغارات کما یلی : —

ك ٢ = ٣٣٩٥ كجم = ١٧٣ م ٣ = ٨٢٠٠٠٠ %

$$\text{ك أ} = 775 \text{ ر ه كجم} = 4762 \text{ م}^3 = 8000000 \text{ ل} = 21\%$$

ن ۲ = ۱۸۰۵۷ کجیم = ۱۴۰۸ م ۳ = ۷۰۰۰۰۰ ٪

المجموع ٢٧٧٤ كجم ٢١١٥ م ٣ ١٠٠٪

وفي حالة تزويد هواء النفخ بخليط من الأكسجين وبخار الماء يصبح

### تركيب الغازات الناتجة : -

ك ٢١ = ٣٣٩٥ كجم = ١٧٣ م ٣ = ١٤ ٪

ك أ = ٧٧٥ ره كجم = ٤٦٢ م ٣ = ٣٧٧ ٪

يد ۱۲ = ۱۳۷ کجم = ۱۷ م ۳ = ۱۳۸ ٪

یہ ۲ = ۰.۳۴ کجم = ۳۸۳ م ۳۰.۸٪

$$2 = 0.056 \text{ كجم} = 0.045 \text{ م}^3 \quad 37\% \text{ } \%$$

المجموع ١١٤٤ كجم = ١٢ر٣ م ٣م ١٠٠٪

ويمكننا وضع الموازنة المادية في جدول للسهولة والتوضيح

جدول ( ١٨ )

النواتج				الشحنة			
هواء + أكسجين + بخار ماء	هواء + أكسجين	هواء		هواء + أكسجين + بخار ماء	هواء + أكسجين	هواء	
٩٠ر٦٦ ١١ر٤٤ ١٩ر٥١ ١ ٠ر٠١	٩٠ر٦٦ ٢٧ر٧٤ ١٩ر٥١ ١ ٠ر٠١	٩٠ر٦٦ ٣٩ر٣٩ ١٩ر٥١ ١ ٠ر٠١	صلب غازات خبث المغذوقات الحديدية الفروق	١٠٠ ١١ر٤ ٩ر٢٢ ٢	١٠٠ ٢٧ر٧ ٩ر٢٢ ٢	١٠٠ ٣٩ر٣٥ ٩ر٢٢ ٢	حديد زهر هواء النفخ الجير البطانة
١٢٢ر٦٢	١٢٨ر٩٢	١٥٠ر٥٧		١٢٢ر٦٢	١٢٨ر٩٢	١٥٠ر٥٧	

وقد وجد عمليا أنه أثناء صناعة الصلب يفقد منه ٨٣٤ كجم كمقذوفات حديدية ، ١ كجم كصلب ضائع فى الخبث أى أن الناتج = ١٠٠ - ٨٣٤ - ١ = ٩٠.٦٦ كجم

## ثانيا : الموازنة الحرارية

### أولا الحرارة الداخلة الى المحول

$$١ - الحرارة المحتواة فى الحديد الزهر = ١٠٠ ( ٠.١٧٨ ) \times ١١٣٠ + ٥٢ + ٠.٢٦ ( ١٢٣٠ - ١١٣٠ ) = ٢٧٨٠٠ سعرا$$

$$\text{حيث : } ١١٣٠ = \text{درجة انصهار الحديد الزهر القاعدة } ٥ \text{ م} \\ ٠.١٧٨ = \text{السعة الحرارية للحديد الزهر قبل الانصهار سعرا / كجم } ٥ \text{ م} \cdot$$

$$٥٢ = \text{الحرارة الكامنة اللازمة للانصهار سعرا / كجم} \\ ٠.٢٦ = \text{السعة الحرارية للحديد الزهر المنصهر سعرا / كجم } ٥ \text{ م} \\ ١٢٣٠ = \text{درجة حرارة الحديد الزهر المشحون بالمحول } ٥ \text{ م}$$

$$٢ - الحرارة المحتواة فى هواء النفخ :$$

$$( \text{درجة حرارة هواء النح} = ٥٠^\circ \text{م} )$$

$$= ٢٧٧ \times ٠.٢٣٣ \times ٥٠ = ٣٢٢ سعرا$$

وعندما يكون النفخ بالهواء المزود بخليط من الأكسجين وبخار الماء عند درجة ١٨٠ - ٢٠٠ م ( الوزن الكلى للخليط ١١٤ كجم ، يحتوى على : ٠.٦ × ١١٤ = ٦٨٤ كجم من الأكسجين ، ٤٥٦ كجم من الأكسجين تحتوى على ٩٢ / فقط من الأكسجين النقى = ٦٨٤ = ٦٨٤ × ٩٢ = ٦٢٨ كجم اكسجين ، ٥٦ ر كجم نتروجينا .

$$٤٥٦ \text{ كجم من بخار الماء يتحلل منها } ٧٠ / \text{ أى وزن بخار الماء المتحلل} = ٣١٩ \text{ كجم وهذه الكمية تعطى مقدارا من الأكسجين يساوى :} \\ \frac{٣١٩ \times ١٦}{١٨} = ٢٨٥ \text{ كجم أ } ٢ ، ٠.٣٤ \text{ كجم من الايدروجين}$$

ونتيجة لهذا تكون عندنا الكمية المطلوبة من الأكسجين والتي تساوى

$$٦٢٨ + ٢٨٥ = ٩١٣ \text{ كجم } ٢$$

$$\text{السعة الحرارية} = ٢٠٠ ( ٦٢٨ \times ٠.٢٢٣ + ٥٦ \times ٠.٢٤٩ ) + ٤٥٦ \times ٧٢٠ = \text{سعرا}$$



حيث  $0.223 \text{ ر} =$  السعة الحرارية للأكسجين عند  $2000^\circ \text{ م}$  سعرا / كجم  $5^\circ \text{ م}$

$0.249 \text{ ر} =$  السعة الحرارية للنيتروجين عند  $200^\circ \text{ م}$  سعرا / كجم  $5^\circ \text{ م}$

$0.452 \text{ ر} =$  السعة الحرارية لبخار الماء عند  $200^\circ \text{ م}$  سعرا / كجم  $5^\circ \text{ م}$

٣ - الحرارة المتولدة من تأكسد الكربون الى أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون

$$= 820 \times 8137 + 2475 \times 2452 = 12765 \text{ سعرا}$$

٤ - الحرارة الناتجة عن تأكسد ونخبث السليكون الى  $\text{SiO}_2$

$$= 0.3 \times 7428 = 2227 \text{ سعرا}$$

٥ - الحرارة الناتجة عن تأكسد ونخبث الفوسفور الى  $\text{P}_2\text{O}_5$

٤ فو  $\text{P}_2\text{O}_5$

$$= 194 \times 8550 = 16600 \text{ سعرا}$$

٦ - الحرارة الناتجة عن أكسدة المنجنيز :

$$0.766 \times 1758 = 1347 \text{ سعرا}$$

الحرارة الناتجة عن تأكسد الحديد

$$= 1191 \times 2 = 2382 \text{ سعرا}$$

### ثانيا الحرارة الخارجة من المحول

١ - الحرارة المحتواة في الصلب

$$= 90.66 \text{ ر} (167 \times 1500 + 65 + 2 \text{ ر} (1650 - 1500)) = 31278 \text{ سعرا}$$

حيث :  $167 \text{ ر} =$  السعة الحرارية للصلب قبل نقطة الانصهار سعرا / كجم  $5^\circ \text{ م}$

$1500 =$  نقطة انصهار الصلب  $5^\circ \text{ م}$

$65 =$  الحرارة الكامنة اللازمة للانصهار سعرا / كجم

$0.2 \text{ ر} =$  السعة الحرارية للصلب المنصهر سعرا / كجم  $5^\circ \text{ م}$

$1650 =$  درجة الحرارة للصلب الناتج  $5^\circ \text{ م}$

٢ - الحرارة المحتواة في الخبث

$$= 1950.6 \times (0.294 \times 1650 + 50) = 10450 \text{ سعرا}$$

حيث  $0.294 \text{ ر} =$  السعة الحرارية للخبث سعرا / كجم  $5^\circ \text{ م}$

$50 =$  الحرارة الكامنة للانصهار سعرا / كجم

٣ - كمية الحرارة التي تحملها الغازات المساعدة من المحول عند ١٤٠٠ م ( النفخ بالهواء )

$$\text{ك أ } ٢ \times ١٧٣ \times ٥٣٤ \times ١٤٠٠ = ١٢٩٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ك أ } ٢ \times ٤٦٢ \times ٣٢٩ \times ١٤٠٠ = ٢١٣٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ن } ٢ \times ٢٤٢ \times ٣٢٩ \times ١٤٠٠ = ١١١٤٧ \text{ سعرا}$$

---

المجموع ١٤٥٦٧ سعرا

( النفخ بالهواء والأكسجين ) :

$$\text{ك أ } ٢ \times ١٢٩٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ك أ } ١ \times ٢١٣٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ن } ٢ \times ١٤٨ \times ٣٢٩ \times ١٤٠٠ = ٦٨٠٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ك أ } ٢ \times ١٢٩٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ك أ } ١ \times ٢١٣٠ \text{ سعرا}$$

$$\text{ن } ٢ \times ١٤٨ \times ٣٢٩ \times ١٤٠٠ = ٦٨٠٠ \text{ سعرا}$$

---

المجموع ١٠٢٢٠ سعرا

باستخدام خليط من الأكسجين والبخار مع الهواء :

ثاني أكسيد الكربون ١٢٩٠ سعر

أول أكسيد الكربون ٢١٣٠ سعر

$$\text{ن } ٢ \times ٠٤٥ \times ٣٢٩ \times ١٤٠٠ = ٢٠٦$$

$$\text{يد } ٢ \times ١٧٠٠ \times ٠٤٣٤ = ١٠٣٠ \text{ كالورى}$$

$$\text{يد } ٢ \times ٣٨٠٠ \times ١٤٠٠ = ١٠٧٥٠ \text{ كالورى}$$

ويكون تحليل حرارة البخار : =

$$٢٨٩٥٠ \times ٠٣٤ = ٩٨٤٠ \text{ كالورى}$$

ويوضح جدول ( ١٩ ) الاتزان الحرارى وتكون الفواقد نتيجة الاشعاع وتحلل الجير تحت الاحتراق وبعض كميات عملية أخرى حتى ٥ ٪ . ويستخدم لاختلاف لايجاد الحرارة الفائضة التى يمكن استخدامها فى صهر الخرقة .

وتكون الفواقد الكبيرة مع غازات المحولات الهاربة والموجودة مع الهواء اللافح .

ويكون التأثير الحرارى على الحمام نتيجة خليط من ٦٠ ٪ - ٩٠ ٪ أكسجين نقى ، ٤٠ ٪ أبخرة مختلفة ولكن قليلا من الهواء اللافح - وأقصى كمية من الخرقة يمكن صهرها مع الهواء اللافح الفتى بالأكسجين لا تتعدى ٣٠ ٪ .

الحرارة المدخلة  
جدول ( ١٩ )

بخار الماء والأكسجين في الهواء اللافح		الهواء اللافح الغني بالأكسجين		الهواء اللافح		الاستهلاك
٪	كالورى	٪	كالورى	:	كالورى	
٢٧٦	٢٧٨٠٠	٤٣٩	٢٧٨٠٠	٤٣٧	٢٧٨٠٠	حرارة انصهار الحديد الزهر حرارة الهواء اللافح حرارة أكسدة الكربون أكسدة وتخليخ السليكون أكسدة وتخليخ الفوسفور أكسدة المنجنيز أكسدة الحديد
١١	٧٢٠	٥٠	٢٢٢	٥٧	٤٥٨	
٢٠٠	١٢٧٦٥	٢٠٢	١٢٧٦٥	٢٠١	١٢٧٦٥	
٣٥	٢٢٢٧	٣٥	٢٢٢٧	٣٥	٢٢٢٧	
٢٦٢	١٦٦٠٠	٢٦٢	١٦٦٠٠	٢٦٢	١٦٦٠٠	
٢١	١٣٤٧	٢١	١٣٤٧	٢١	١٣٤٧	
٣٧	٢٣٨٢	٣٦	٢٣٨٢	٣٧	٢٣٨٢	
١٠٠٠	٦٣٨٤١	١٠٠٠	٦٣٤٤٣	١٠٠٠	٦٣٥٧٩	

أجهزة المتصاعدة

جدول ( ١٩ ) ملحق

بخار الماء والأكسجين في الهواء اللافتح		الهواء اللافتح الغني بالأكسجين		الهواء اللافتح		الاستهلاك
%	كالوري	%	كالوري	%	كالوري	
٤٩.٠	٣١٢٧٨	٤٩.٤	٣١٢٧٨	٤٩.٢	٣١٢٧٨	حرارة انصهار الصلب حرارة إنجيب حرارة الغازات تحلل بخار الماء الاشعاع والوقود الحرارية الأخرى الحرارة الفائضة المستخدمة لصهر الخرقة
١٦.٤	١٠٠٤٥٠	١٦.٥	١٠٠٤٥٠	١٦.٤	١٠٠٤٥٠	
١٠.٠	٦٤٠٠٦	١٦.١	١٠٠٢٢٠	٢٢.٩	١٤٥٦٧	
١٥.٤	٩٥٨٤٠	-	-	-	-	
٥.٠	٣١١٩٢	٥.٠	٣١١٧٢	٥.٠	٣١١٧٩	
٤.٢	٢٦٦٧٥	١٣.٠	٨٣٢٣	٦.٥	٤١٠٥	
١٠٠.٥	٦٣٨٤١	١٠٠.٠	٦٣٤٤٣	١٠٠.٠	٦٣٥٥٩	

## الطريقة العاوية للنفخ فى المحولات

مما لا شك فيه أن أهم ما يعيب صلب المحولات المصنوع بطريقه النفخ السلفه بالهواء هو الفتسافه الزائده خاصه عند درجات الحراره المنخفضة . كما أن ميل هذا الصلب يعطى ميلا واضحا لظاهرة الأزمان ( الانخفاض فى عمله للخدمات ) أثناء فترة استخدامه ونشغله وقابلية ضعيفة للحام بالكهرباء .

والسبب الرئيسى لظهور ميل هذه العيوب هو ارتفاع نسبة النروجين والأكسجين والفوسفور وكثير من الشوائب غير المعدنية اذا قورن هذا الصلب بصلب الأفران المفتوحة .

والى جانب هذا فان محول بسمر ذا البطانة الحامضيه يمكن استخدامه لنفخ الحديد الزهر المحتوى على نسبة منخفضة من الكبريت والفوسفور بينما يجب أن يحتوى الحديد الزهر النوماسى على نسبة عالية من الفوسفور .

وفى كلتا الطريقتين فانه يلزم لنا تركيب كيميائى خاص ومحدود للمواد الخام الأمر الذى يضع استغلال الخامات والمواد الأولية اللازمة لهذه الصناعة فى أضيق الحدود .

وباستخدام الأكسجين الخالص لنفخ الحديد الزهر من أعلى المحول أصبح فى الامكان الحصول على صلب يحتوى على نسبة منخفضة من النتروجين ، الأكسجين ، ويتم النفخ فى محول قاعدى البطانة ذى قاعدة صماء .

ولقد أصبح من المسلم به أن الصلب الناتج بهذه الطريقة لا يقل فى جودته بأى حال من الأحوال عن نظيره المصنوع فى الأفران المفتوحة .

## ١ - المبادئ الأساسية لطريقة النفخ العلوية

فى هذه الطريقة نصب شحنة الحديد الزهر فى محول ذى قاعدة صماء. ثم تضاف كمية الجبر اللازمة وخام الحديد بعد ذلك يوجه نيسار الأكسجين على سطح المعدن خلال ودنات تبرد بالماء ( مائية التبريد ) ذات فوهات نحاسية .

ويضبط وضع الفوهات على ارتفاع محدد من سطح المعدن ثم يسيلط على المعدن تيار الأكسجين الذى تبلغ درجة نقائه أكثر من ٩٩٪ وتحت ضغط حوالى ١٠ - ١٤ ضغطا جويا ( مقيسا بجهاز الضغط ) .

وتتوقف كمية الأكسجين على شحنة الحديد بالمحول وأيضا على حجم وشكل الفوهات المستخدمة فمثلا لنفخ ٢٥٥ طنا من الحديد الزهر يوجه نيسار الأكسجين بمعدل ٦٥ - ٨٠ م<sup>٣</sup> فى الدقيقة خلال فوهة دائرية قطرها ٤٢ مم .

وإذا كان وزن الشحنة ٣٧ طنا كانت كمية الأكسجين المطلوبة بين ١٤٠ - ١٦٠ م<sup>٣</sup>/٣ دقيقة .

ويتغير معدل سريان الأكسجين تبعا لتغير فترة وطبيعة الحرارة .

وفى خلال عملية النفخ يتخلل تيار الأكسجين طبقات المعدن وتتكون منطقة للتفاعلات ( شكل ٢٨ - أ ) حيث ترتفع درجة الحرارة فيها الى حوالى ٢٤٠٠ م° وتعرض جزيئات المعدن للأكسجين فى منطقة التفاعلات فتتأكسد مباشرة عن آخرها ويكون نتيجة لتأكسد الحديد والشوائب الأخرى الموجودة بالحديد الزهر تكون : ح أ ، س أ ، م أ ، فو أ ، ك أ ولاكاسيد الحديد المتكونة قدرة كبيرة على الحركة بسرعة مما يساعد على أكسدة الشوائب الموجودة فى المناطق الموجودة بجانب منطقة التفاعلات .

وباستمرار تدفق نيار الأكسجين وانبعث كمية كبيرة من غاز أول أكسيد الكربون تتحرك أكاسيد الحديد بسرعة خلال المعدن ويؤدى هذا الى خلط كمية الشحنة وتجانسها جيدا .

وإذا احتوى الحديد الزهر على ٣٥٪ كربونا يتصاعد ١٨٠ حجما من أول أكسيد الكربون عند ٥١٥٠٠ م لكل حجم من الأكسجين المنفوخ عند الصفر المئوى .

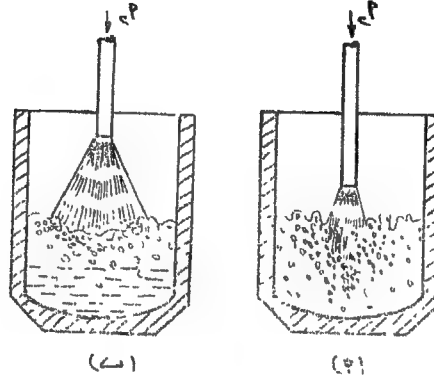
وفى طريقة النفخ العلوية تتأكسد الشوائب الموجودة بالحديد الزهر اما مباشرة بالأكسجين أو خلال الخبث ويمكن التحكم فى النسبة بين

الطريقتين ( طريقة التأكسد المباشر وغير المباشر ) بتغيير معدل سريان الأكسجين فكلما زاد سريان الأكسجين واقتربت ودنات النفخ من سطح المعدن زاد اختراق تيار الأكسجين لطبقاته وكانت التفاعلات التي تتم بالأكسدة المباشرة أكثر نشاطاً . وعندما ينخفض معدل تدفق الأكسجين ونضبط ودنات النفخ عالياً فوق سطح المعدن نصبح منطقة التفاعلات ضحلة ( شكل ٢٨ ) وتفاعلات الأكسدة عند السطح أكبر بسبب تشتت الأكسجين على مساحة كبيرة من سطح المعدن وفي هذه الحالة نزيد أكاسيد الحديد في الخبث ويصبح الخبث عندئذ سبباً لتفاعلات الأكسدة غير المباشرة .

وبضبط معدل تدفق الأكسجين وارتفاع ودنات النفخ يمكننا التحكم في كمية أكاسيد الحديد بالخبث الذي يحتوى على أكسيد الحديدوز .

وتكوين خبث الجير الحديدي في بادى العملية يساعد كثيراً على إزالة الفوسفور بغض النظر عن كمية الكربون الذي يحتوىها المعدن وفي هذه الطريقة يتأكسد الفوسفور في نفس الوقت الذي يتأكسد فيه الكربون .

ولما كان النفخ بالأكسجين الخالص فان غازات المحول المتصاعدة لا تحتوى بالمرّة على أى نتروجين ولهذا السبب تقل كمية الحرارة المفقودة في هذه الطريقة عن تلك المفقودة في طريقة بسمر وتوماس وينتفع بكمية الحرارة الزائدة في صهر كمية من الخرّدة أو اختزال مقدار من خام الحديد .



شكل (٢٨) : بين منطقة التفاعلات في حالة

١ - قصبّة دفع الأكسجين في وضع معتاد عن سطح المعدن

ب قصبّة دفع الأكسجين في وضع مرتفع عن سطح المعدن

كما سبق بمكنا نفخ الحديد الزهر الخالص بالأفران المفتوحة والبارد كيميائيا . وتقدم لنا طريقة النفخ العلوية للحديد الزهر بالأكسجين الخالص المزاي الآتية :

١ - بساطه التصميم فى صنع المحولات اذ اننا لسنا بحاجة الى مواعد قابله للفق والتركيب كما ندوم الودنات ماثبة التبريد التى تمد المحول بالأكسجين اللازم لفترة طويلة ( أكثر من ١٠٠ صبة ) .

٢ - ارالة العوسفور بنجاح مهما كانت كمية الكربون بالصلب .

٣ - انخفاض نسبة النتروجين والأكسجين بالصلب الناتج .

٤ - مفاصة الصلب الناتج بهذه الطريقة صلب الأفران المفتوحة فى خواصه الميكانيكية وطرق تشغيله .

٥ - زيادة الفرصة لصهر الانواع مختلفة من الخامات الأولية اللازمة لصنع الحديد المطاوب .

٦ - امكانية صهر الخردة واحزال كمي كبير من خام الحديد مما يؤدى الى رفع الكفاية الانتاجية للصلب الناتج .

٧ - رأس المال اللازم لصناعة هذه المحولات أقل من رأس المال المطلوب لصنع الأفران المفتوحة والتي لها نفس السعة الانتاجية للمحولات .

٨ - كبر سعة المحول .

ولا يعيب هذه الطريقة الا غزارة انبعاث الأبخرة الداكنة والتي تحمل معها الدقائق الصغيرة من الجير وخلافه ولهذا فانه من الواجب تشييد وحدة خاصة لتنقية هذه الغازات .

## ٢ - تصميم المحول ذى النفخ العلوى

ومن ناحية التصميم لا يوجد هناك أى تباين بين هذا النوع من المحولات وبين محولات بسمر بيد أن هذا النوع لا يحتاج الى ودنات لانتفخ ، أو الى صندوق الهواء اذا أن قاعدته صماء .

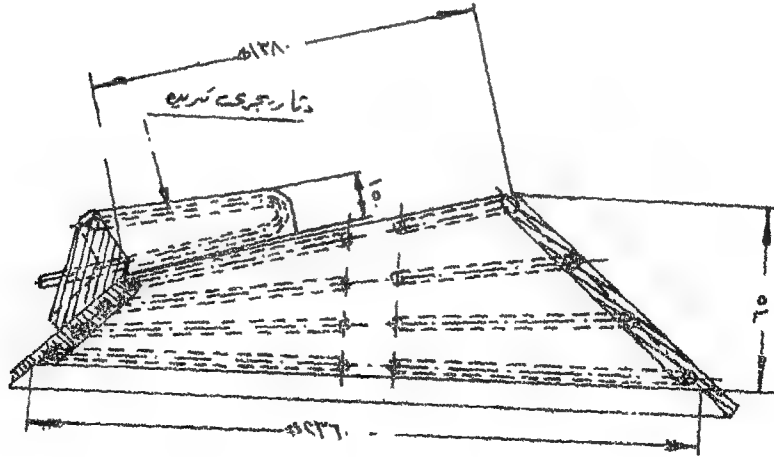
ولسهولة عمليات الصيانة فانه فى العادة تصنع هذه القاعدة بحبيب يمكن فصلها وتركيبها كفىما نشاء .



### فوهة المحول :

تشبه تماما فوهة المحول العادى أى قاعدى النفخ وتزاح قلئلا بالنسبة الى محور المحول حتى يكون تفريغ ( صب ) المعدن اكتر يسرا وسهولة .

ومى احدى الوحدات الصناعية للاتحاد السوفينى تستخدم محولات ذات فوهات تحتوى على أنابيب بها مياه تبريد دورية .



شكل (٢٩) : استعمال المياه فى تبريد فوهة المحول .

ونمتاز مثل هذه الفوهات بعدم تعرضها للحريق وباحتفاظها بأبعادها الأساسية خلال العمل كما يمكن تنظيفها بسهولة مما يعلق بها من بقايا المعدن والخبث ( بر ) .

لفوهة هذا النوع من المحولات نفس الأبعاد التى لفوهة محولات بسمير وتوماس . ولأبعاد فوهة المحول تأثير كبير فى كمية النتروجين المحتص فى الصلب الناتج . فإذا كان قطر الفوهة كبيرا أدى ذلك الى إتاحة الفرصة لاختلاط الهواء الجوى بالمعدن ويذوب كبير من النتروجين بالمعدن الذى يكون عند درجة حرارة عالية جدا .

ويهدر سائما حجم المأكسفات الحديدية التى يلفظها المحول خارجه ومنها تحدد الكفاية الانتاجية للصلب الناتج بعبارة لاتسع فوهة المحول . وقد لاحظ عمال المسبك فى احدى مصانع الصلب بهذه الطريقة أن أعلى كفاية انتاجية لمحول حجمه ٣١٦٥ م<sup>٣</sup> يسع ٢٠ طنا يمكن الحصول عليها اذا تراوح قطر فوهة المحول بين ١٣٠٠ - ١٦٠٠ مم .

وينفخ الأكسجين على الحديد الزهر بمعدل ٥٥ - ٣٦٠ م<sup>٣</sup> تكون كفاءته أعلى من الكفاية الانتاجية لنفس المحول اذا كان قطر فوهته ١٦٠٠ مم .

وفى المحول الأول الذى يبلغ قطر فوهته ١٣٠٠ مم تتراوح نسبة النتروجين فى الصلب المنتج بين ٠.٠٥ - ٠.٠٧ ٪ بينما تتراوح هذه النسبة بين ٠.٠٦ - ٠.٠٩ ٪ فى المحول الذى يبلغ قطر فوهته ١٦٠٠ ميلليمتر . وهذه النقطة لها أهميتها .

ويجب ان يوضع فى الاعتبار عند تصميم المحول أن يكون شكل وأبعاد فوهة المحول مناسبة حتى نسمح لصب الحديد الزهر فيه بسهولة ويكون الفاقد منه أقل ما يمكن .

وفى العادة يصمم المحول المعد لنفخ الأكسجين والذى يسع ٢٤ - ٤٠ طنا بحيث يكون القطر الخارجى لفوهته بين ١٠٥ - ١٠٨ مترا .

وقد وجد أن أنسب طول للنفطر الداخلى لفوهة محول من هذا النوع سعته ٦٠ طنا هو ١٥٠٠ مم .

#### بطانة المحول وعمر مدة أدائها :

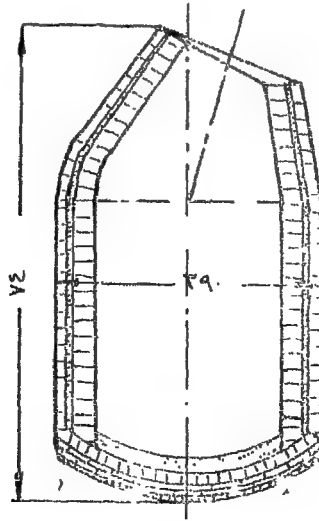
يمكن صنع طبقة البطانة التى تتعرض مباشرة للمعدن من طوب الدولوميت المخلوط بالقطران كمادة لاصقة أو من طوب المجنزيت القارى الذى لم يتعرض للحريق بعد ، أو من طوب المجنزيت العسائى الذى تم حرقه كما يمكن استعمال الطوب عالى الجودة ( ذى الأداء الممتاز ) الذى له صمود كبير للحرارة وأنواع الطوب الحرارى الخاصة كالكرومجنزيت . وهذه المواد الحرارية قد بحثت تفصيلا فيما سبق .

ومن المعقول جدا أن نكون بطانة المحول فى وضع رأسى على طبقتين احدهما داخلية وملاصقة للمعدن والأخرى أساسية ( طبقة وافية لهيكل المحول ) ويملا الفراغ بين الطبقتين دكا بطبقة من الدولوميت أو خليط من المجنزيت والقار .

وبهذه الطريقة نتعرض الطبقة من الدولوميت الداخلية والمواجهة للمعدن للتآكل وربما تستهلك عن آخرها دون أن نتعرض باقى البطانة للتآكل فتزداد مدة أدائها وفى المحولات صغيرة الحجم قد نستخدم أحيانا طبقة مفردة فى التبطين ولكنها لا تترك حتى تستهلك عن آخرها خوفا على هيكل المحول .

وهذا يجعل بنهاية المواد الحرارية المستخدمة ، وفى بعض الأحيان ، يبطن المحول فى المنطقة التى يبلغ الناكل فيها قيمة العظمى بطوب المجنزيت ذى الأداء الممتاز والذى له درجة صمود عالية أمام الحرارة بينما يبطن باقى المحول بطوب المجنزيت العادى .

ويبلغ سمك الطبقة المعرضة للمعدن فى البطانة المزدوجة ( ذات الطبقتين ) لمحول سعنه ٣٠ - ٤٥ طنا - ٤٠٠ مم . وعادة يكون سمك الطبقة الأساسية ٢٥٠ مم أى أن السمك الكلى للطبقتين معا حوالى ٦٠٠ - ٦٥٠ مم .



شكل (٣٠) : محول اكسجين النفخ

ويبلغ السمك الكلى للبطانة المزدوجة لمحول يسع ٦٧ طنا (٥٤-٨١) ٩٦٥ مم وتعمل الطبقة الأساسية لبطانة المحول من طوب المجنزيت كما تصنع الطبقة المعرضة للتفاعلات المختلفة فى المعدن المنصهر من طوب الدولوميت المقطرن .

وينتأثر عمر البطانة بالعوامل المختلفة الآتية :

- ١ - نوع الحرارية المستخدمة فى صنع البطانة .
- ٢ - نوع طوب الحرارية .
- ٣ - الحجم النوعى للمحول .
- ٤ - قطر المحول .

٥ - طريقة التشغيل ودرجة الحرارة عند النفخ ، ومعدل تكون الخبث ، وضغط الأكسجين ومعدل استهلاكه ، وارتفاع قصبات النفخ فوق سطح المعدن ، كمية السليكون بالحديد الزهر ٠٠ الخ ٠٠٠

٦ - محاذاة محور الودنات مع المحور الهندسى الرأسى للمحول .  
والعد اجريب أبحاث واسعة لاختيار عمر بطانة ( طبقة البطانة ) المعرضة للتسغيل لمحولات ٣٠ - ٤٠ طنا وكانت هذه الطبقة من البطانة مصنوعة من الدولوميت المفطرون وطوب المجريت المفطرون وكانت لهذه الأبحاث أهمية بالغه إذ ثبت أن هذه الطبقة يمكنها الصمود حتى ٢٥٠ صبهه بينما فى حالة المحولات سعه ٤٥ طنا والمصنوعة من طوب المجنزيت العادى فانها تتداعى بعد ٢٠٠ صبهه فى حين أنه فى المحولات ٣٠ - ٣٥ طنا والمبطنة بطوب المجنزيت الخاص ذى الكثافة العالية والذى له مقاومة شديدة للصدمات الحراريه ودرجة التفكك الدنناميكى له أعلى من ٥١٨٠٠م فإن هذا النوع من البطانة يصمد حتى عمر ٥٠٠ صبهه .

وتسمى الطبقة الأساسيه للمبطانه فى جميع المحولات ذات البطانه المزدوجة لعدة مرات تغيير البطانه الداخليه ، طوب الكرومجنزيت المزدوجة لعدة مرات تغيير البطانه الداخليه ، ويستخدم طوب الكرومجنزيت لصناعة البطانة المفردة فى المحولات النى سعه ٢٥ر٥ طنا ويكون سمكها ٣٨٠م وتكفى لتحويل ١٨٠ شحنة من الحديد الزهر على مدى البطانة الواحدة .

ويتدخل عدد من المؤثرات الطبيعىة والكيميائيه لوضع النهايه لعمر البطانة وأهم هذه العوامل هى :

١ - الفعل ( التأثير ) الميكانيكى لحركة المعدن المنصهر .  
٢ - التأثير المباشر للارتفاع الشديده فى درجة الحرارة بسبب تيار الأكسجين .

٣ - تشبع سطح البطانة الحراريه الملاصقة للمعدن المنصهر بأكاسيد الحديد .

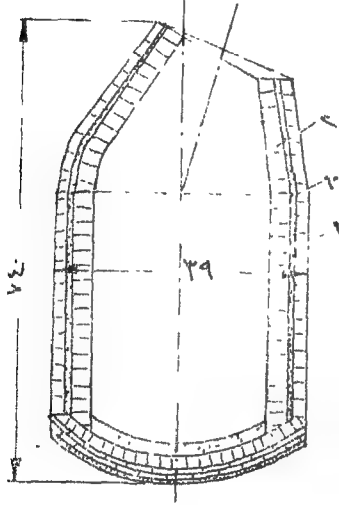
٤ - التأثير السيئ للسليكا المتكونة خلال فترة النفخ الأولى حيث يكون ذوبان الجير جزئيا فى المعدن .  
ومما يزيد من خطورة هذه المؤثرات ارتفاع درجة حرارة المعدن المنصهر الى أكثر من ١٦٥م .

ولهذا السبب فانه باجراء عملية تبريد مناسبة يطول عمر البطانة ولا تستهلك الا بعد عدد أكبر من الصبات .  
وبزيادة كل من الحجم النوعى وقطر المحول يكون هذا عاملا هاما على

حفض تأثير بيار الأكسجين على سطح الحرارية المبطنه للمحول والحد من تلفها واستهلاكها .

وبضبط ودنة النفخ على المحور الهندسي للمحول بالاستعانة بجهاز ضبط خاص يصبح نبار الأكسجين متساويا مع البعد تماما عن جدران المحول .

يبين شكل ( ٣١ ) رسم توضيحي لبطانة محول متعددة الطبقات ، ويسع هذا المحول ٢٠ طنا .



شكل (٣١) : يوضح بطانة متعددة الطبقات :

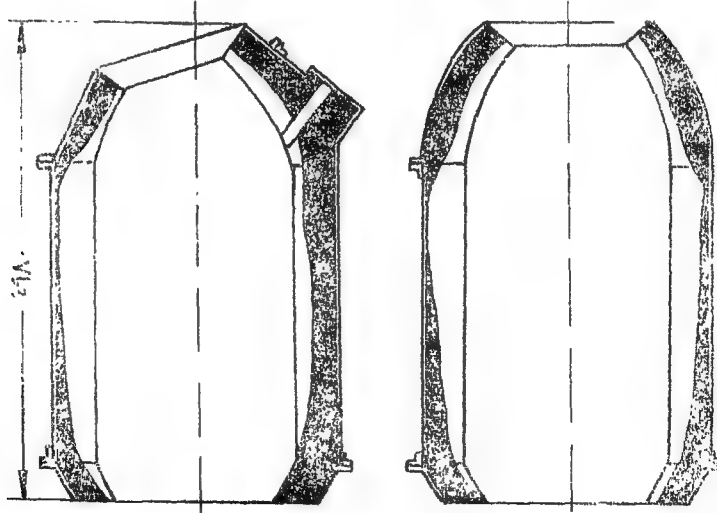
١ - الطبقة الأساسية ( الى ندمى هيك

ل النون ) .

٢ - الطبقة الواجبة للمعدن المنصهر .

٣ - خليط الحرارية المستخدم في مل

الفراغ بين الطبقتين .



شكل (٣٢) : بين شكل النحات ( التاكل ) في حراريات بطانة المحول عند نهاية مدة اداؤها .

ويوضح شكل ( ٣٢ ) منظرا لشكل التآكل النمطي في هذا المحول ،  
ويلاحظ من الشكل شدة تعرض الأجزاء العليا من البطانة للتآكل في  
الوقت الذي تتآكل فيه القواعد بدرجة غير ملحوظة .

وكما أن أى خطأ في تسخين المحول بعد ترميمه قد يؤثر تأثيرا سيئا  
على عمر البطانة ، فإن الارتفاع المفاجيء في درجة الحرارة يؤدي الى تقشر  
حرارياتها .

وبالعكس فإن التسخين الهين له تأثير سيء على القار الذي يعمل  
كمادة لاصقة اذ يعمل على دفعه خارج البطانة مما يتلفها ويفسد  
خواصها .

ولمحول سعته ٢٥ - ٣٥ طنا تسنغرق مدة تجفيفه ثم تسخينه حتى  
٨٢٠٠ م ٥٠ حوالى ١٢ ساعة ويمكن اطالة عمر البطانة بعمل الترميمات  
والبطانة ساخنة .

ولهذا الغرض يدار المحول بطريقة ما حتى يصبح المكان المراد ترميمه  
الى أسفل وبعد صب الصلب يتبقى بعض الخبث السائل الذي يتجمع  
في المكان المصاب من البطانة وعندئذ يلقي بعض الطوب الحرارى المجروش  
الى الخبث ثم يسقط مشعل الغاز على المكان المصاب .

ويمكن أيضا ترميم الأماكن الضعيفة بواسطة خلطة من الحراريات  
المجروشة المضاف اليها القار كمادة لاصقة .

ويستهلك انتاج الطن من الصلب حوالى ٩ - ١٠ كجم من الحراريات  
اذا كانت طبقة البطانة المعرضة للمعدن من الدولوميت المقطرن وطوب  
المجنزيت .

ويقل كثيرا الاستهلاك للحراريات اذا استخدمنا أنواعا خاصة من  
طوب المجنزيت ذى الجودة العالية لصناعة البطانة المزدوجة فينخفض  
الاستهلاك الى ٥ - ٧ كجم لكل طن من الصلب .

( تتطلب الأفران المفتوحة ١٨ كجم من الطوب الحرارى للبطانة ،  
٢٠ كجم من الدولوميت لاصلاح الترميمات المختلفة أى يستهلك ٣٨ كجم  
منها لكل طن من الصلب الناتج ) .

#### الأبعاد الأساسية عند تصميم المحول :

يعطى جدول ( ٢٠ ) الأبعاد الأساسية الرئيسية للمحولات علوية النفخ  
والتي تستخدم في الاتحاد السوفيتى وغيره من البلدان الأخرى .

جول (٢٠)

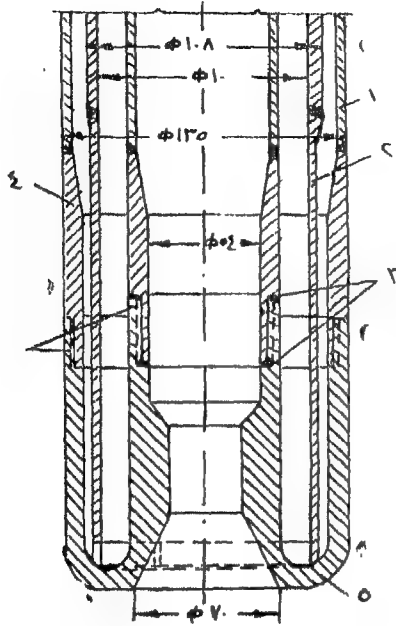
كندا	ولايات متحدة أمريكية	النمسا دوفونيز	النمسا لينز	الاتحاد السوفيتي وحدة ب	الاتحاد السوفيتي وحدة أ	شحنة المحول بالطن حجم المحول م <sup>٣</sup> نسبة حجم المحول الى وزن شحنته م <sup>٣</sup> طن ارتفاع المحول م القطر الخارجي للمحول م القطر الداخلي للمحول م القطر الخارجي لفوهة المحول م
٤٠	٤٤	٣٣	٣٠	٣٧	٣٦ر٥	
٢٢ر٥	-	٣٢	٣٠	٥٢	٢٠	
٨١	-	٩٧	١٠	١٤	٧٦	
٧٦	-	٦٧٥	٧٤	٦٨٧٥	٥٧٢	
٤٣	-	٤٢	٢٩	٤٣٤	٣٥	
٣٠	٦٧	٣	٢٧	٣٤٥	٢٥٤	
١٥	٣٩٥	١٨٣٥	-	٢٤٤	١٤٧	

وعند نهاية البطانة يزداد حجم المحول فى وحدة تسخير المحولات من ٣م٣٢٥ الى ٣م٤٧ وبما لذلك يمكن زيادة مقدار الشحنة المضافة .  
ويبلغ عمق المعدن المنصهر داخل المحول لسمحة زريد عن ٣٠ طنا مترا واحدا وكلما تأكلت البطانة أكثر كلما انخفض هذا العمق الى ٧٥-٨٠مترا ( لنفس الشحنة ) .

ويمكن اطالة عمر بطانة المحول وكفاءه الانتاجية اذا احتفظ حجمه النوعى بالقيمة ١-٣م١١ لكل طن من الشحنة وتتأثر للدرجة كبيرة كمية المقذوفات الحديدية بارتفاع المحول فزيادة ارتفاعه يقل بناتر هذه هذه المقذوفات خارج المحول ويبقى الكنر منها داخله دون أن تبل فوهنه مما يقلل من كمية الفاقد من الصلب فزداد انتاحه .

### ٣ - جهاز تمويل الأكسجين

تستخدم الأنابيب المبرشمة ( غير الملحومة ) فى صناعة ودبات ( قصبات ) تمويل الأكسجين الى داخل المحول ويستخدم لهذا الغرض ثلاث أنابيب متحدة المركز داخل بعضها البعض وتقوم الأنبوبة الوسطى بتغذية المعدن بالأكسجين بينما نشغل الأنبوتان الأخرتان فى التبريد .  
وللأنبوبة رأس نحاسية تدمج بها اما بالقلوطة أو باللحام كما فى شكل ( ٣٣ ) وتأخذ الأنبوبة وضعاً راسياً بحيث ينطبق محورهما على المحور الهندسى للمحول تماماً .



شكل ( ٣٣ ) : قصبه تدفق الأكسجين ،  
يريد بالاء .

- ١ - الأنبوبة الخارجية
- ٢ - أنبوبة الفصل
- ٣ - فواصل من الرصاص
- ٤ - وليمة معدنية
- ٥ - لقمة نحاسية



ويحدد طولها ببعاء لارتفاع المحول ومستوى شحنة المعدن داخله ويجب أن تكون أبعادها وشكلها بحيث نسمح لها بالحركة الحرة ارتفاعا وانخفاضاً فنتمكن من خفضها حتى ١٥٠ - ٢٠٠ مم فوق السطح الخالص للمعدن كما يمكن من رفعها نهائياً بعيداً عن المحول حتى نتمكن من إزالته بسهولة . ويبلغ أنابيب الأكسجين هذه من ٧ - ٩ مم طولاً وهي على شكل الحرف  $\Gamma$  ، ويصبح طولها عندما يبعد جانبها بعد رفعها من المحول حوالى ٣ - ٤ مم ( كما فى شكل ٣٤ ) .

ويستعان بمجموعه من البكرات تشغل من حجرة المراقبة لرفع وحفظ أنبوبة تمويل الأكسجين ويدفع الأكسجين الى الفصصات عن طريق خرطوم متنبية ومعزولة من الخارج بطبقة من الاسبستوس ويتحدد سلفاً أبعاد فوهة أنبوبة تمويل الأكسجين وشكلها بمعلومة كميته الأكسجين التى نمر خلالها وظروف التشغيل الخاصة .

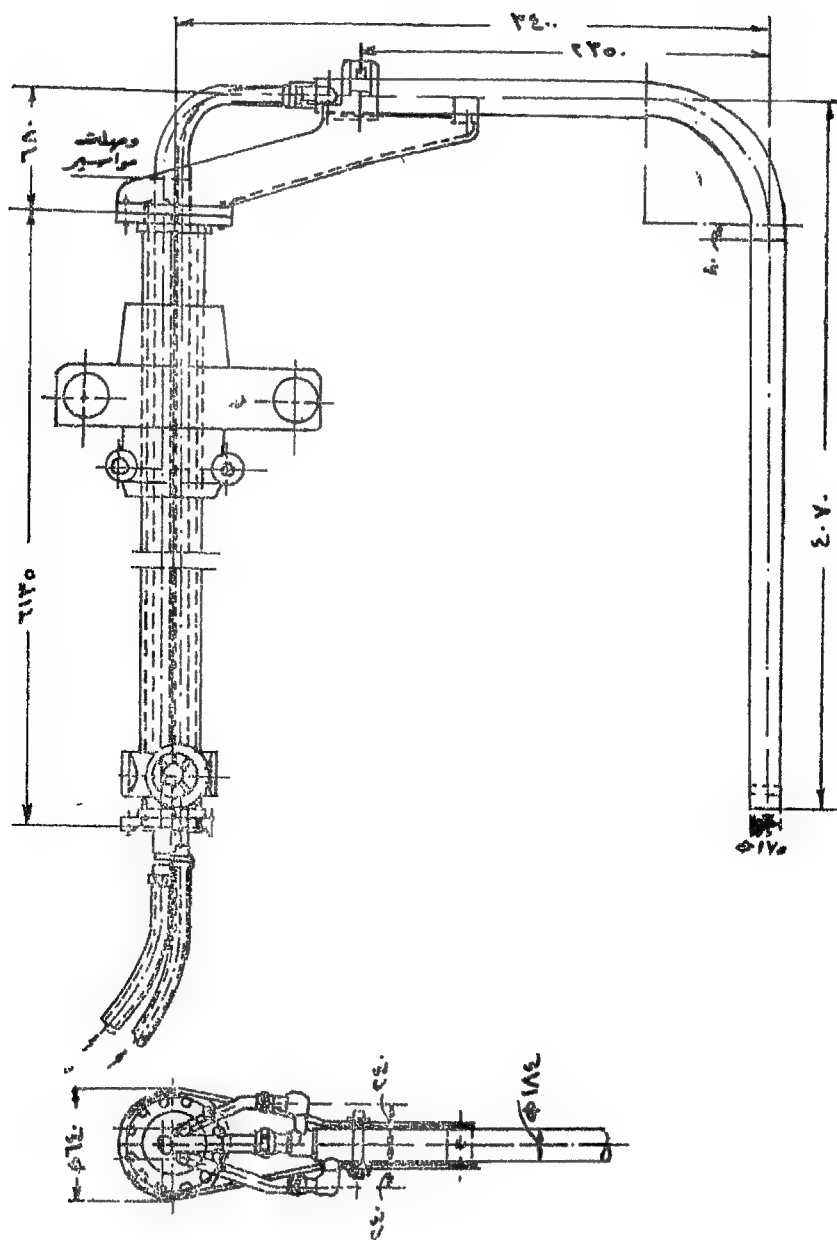
وتلزم كمية من الماء تقدر بحوالى ٨ - ١٠ لتر فى النابذة لأغراض التبريد اللازمة لأنبوبة تمويل الأكسجين والتى يبلغ قطرها الخارجى ١٠٨ مم ( لمحول سعة ١٠ طن وحجمه ٨ م<sup>٣</sup> ) .

ويرفع هذه الكمية من مياه التبريد الى ١٢ - ١٤ لتراً ثانية اذا كان القطر الخارجى لأنبوبة المد بالأكسجين ١٣٥ مم ( وتستخدم فى المحولات سعة ١٣ - ١٦ طناً ذات الحجم ١٢ م<sup>٣</sup> ) .

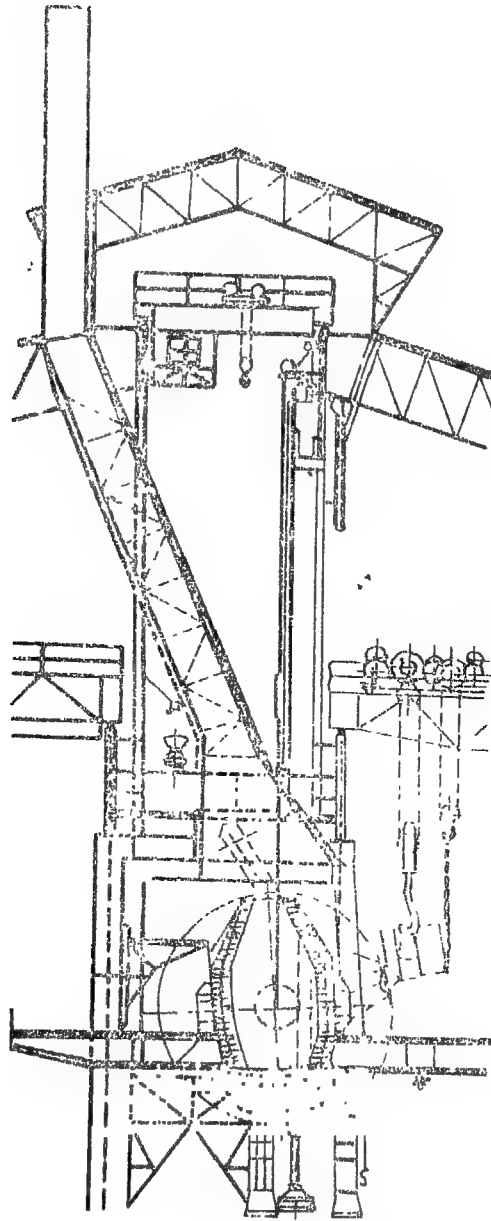
وإذا كانت الأنبوبة مستدقة وطولها ٣٢ م ، وقطرها عند نهايتها العليا ١٩٤ مم ، وقطرها على نهايتها السفلى ١٧٥ مم ( ويستعمل لمحول سعة ٣٦٥ طناً وحجمه ٢٠ م<sup>٣</sup> ) كانت كمية المياه اللازمة للتبريد بين ١١ - ١٢ لتر / ثانية .

وتدفع هذه المياه بواسطة مضخات خاصة بحسب ضغط يعادل ٦ - ٨ ضغطاً جويًا ، ويجب ألا تزيد درجة حرارة هذه المياه عند مغادرتها أنبوبة الأكسجين عن ٤٠ درجة مئوية . ويتم تغيير الرأس النحاسية للأنبوبة بعد ١٠٠٠ ( ألف صبة ) .

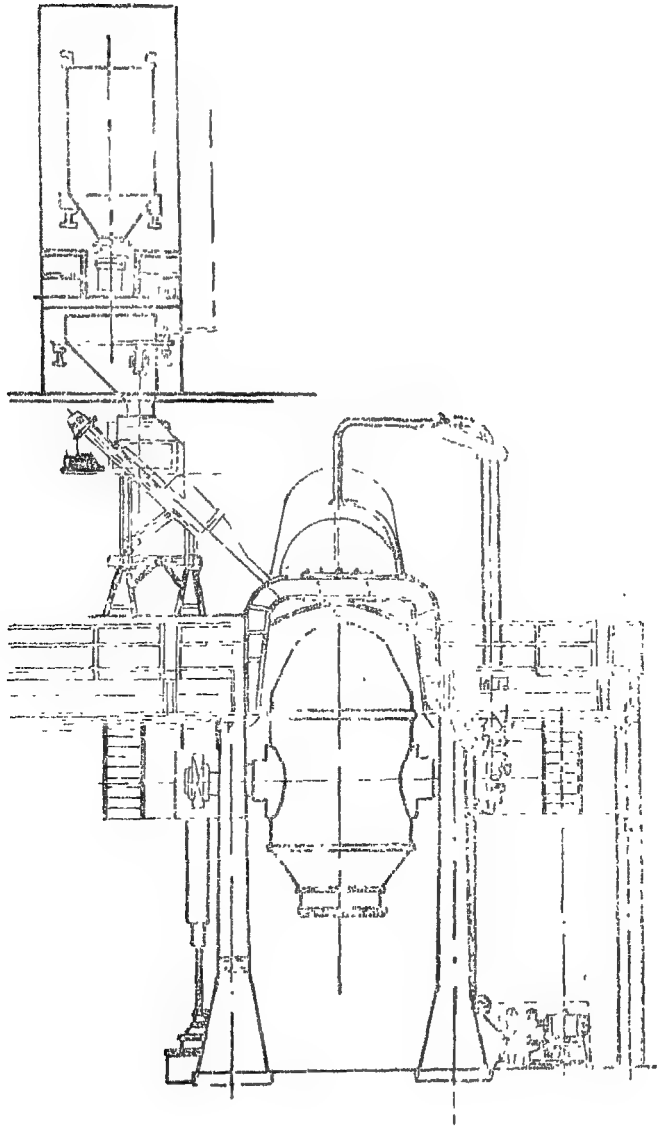
ونرى فى شكل ( ٣٥ ) منظراً عاماً لمحول من هذا النوع وأنبوبة تمويل بالأكسجين رأسية وفى شكل ( ٣٦ ) منظراً لمحول ذى أنبوبة على شكل حرف  $\Gamma$  .



شكل (٣٤) : قصبه على شكل حرف U بتورد بواسطة المياه •



شكل (٣٥) : منظر عام لمصنع صلب ده محول بقضبة رأسية

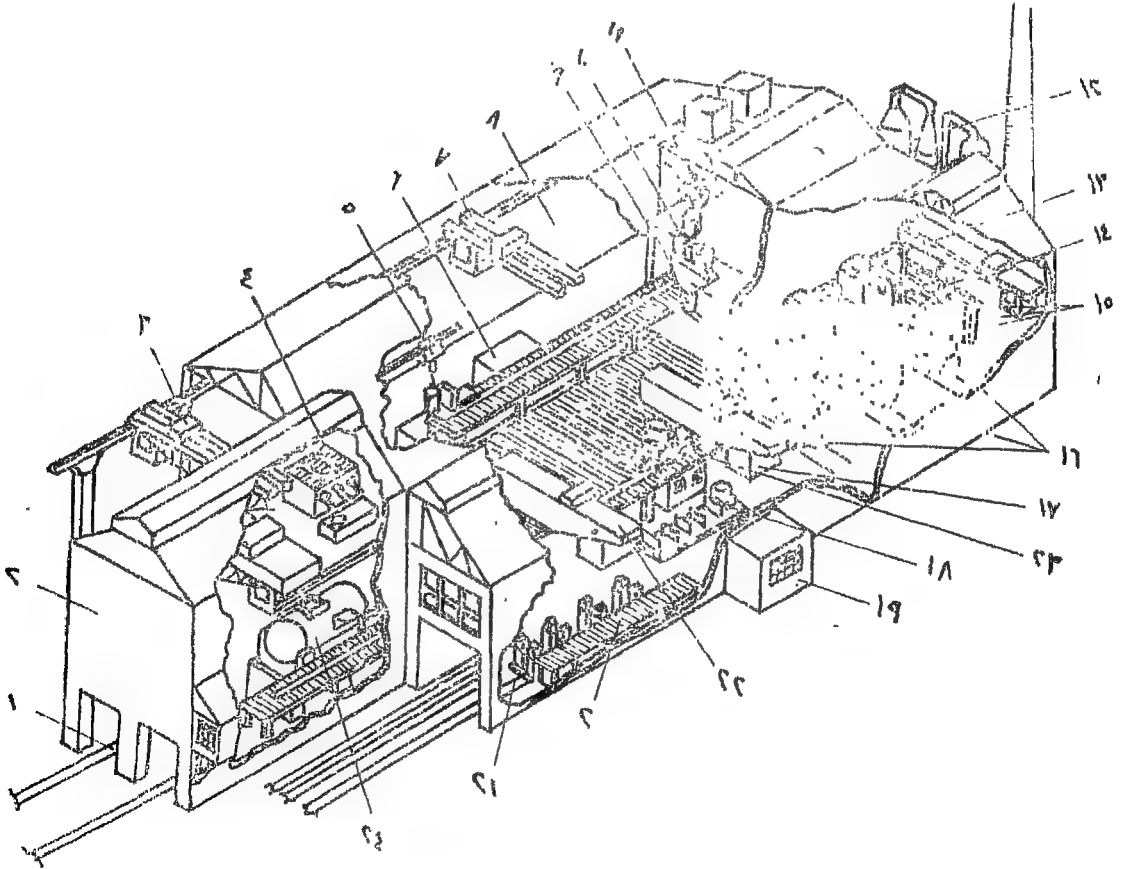


شكل (٣٦) : يبين منظرا عاما به لفة على شكل حرف U

#### ٤ - تصريف الشحنة

من الأمور التي تحتل المرتبة الأولى من حيث الأهمية أنه يجب وضع الشحنة بالمحصول بطريقة تكفل إضافة المواد الأخرى دون أن يكون هناك أى تأخير فى ذلك سواء كانت اضافتها قبل اجراء عملية التفخ أو أثنائها .

ويجدر بنا أن نأخذ فى الاعتبار زيادة كمية خام الحديد والمواد الصهارة عنها فى الطرق لأخرى فى تشغيل المحولات وتكون الإضافات للخام بواقع ٨-٥٪ لكل طن من الصلب الناتج ، والجير بواقع ٧-٩٪ والبوكسيت ٥-١٪ وفى بعض الأحيان يضاف بعض الفلوريت ( الفلورسبار ) لتسهيل ذوبان الجير . ونرى فى شكل ( ٣٧ ) رسماً لأحد مصانع الصلب به ثلاثة محولات سعة كل منها ٢٦٥ طناً وتجرى عملية شحنها على النحو التالى .



شكل ( ٣٧ ) : رسم تخطيطى لنسج المحولات يضم ٣ محولات سعة كل منها ٢٦٥ طناً .

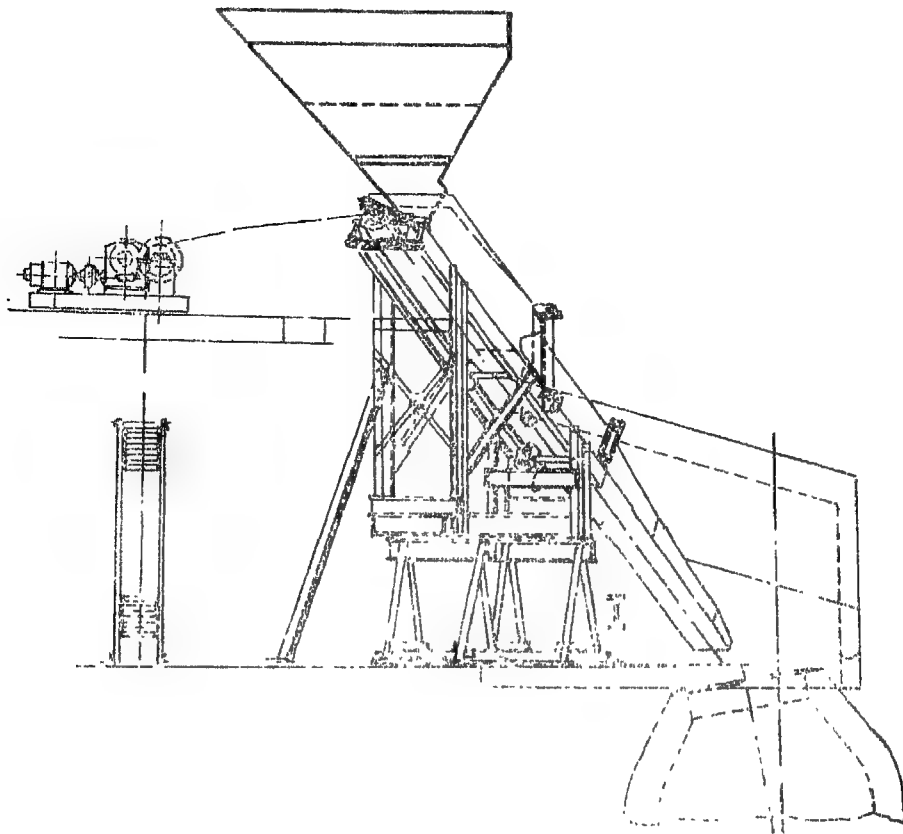
تشحن صوامع الجير والبوكسيت الموجوده فى مستوى الصاله  
بواسطة أوناش مناسبة .

يحمل ( وينفل ) الجير والبوكسيت من الصوامع فى قوادرى تسع  
٨ م ١ م ٣ ثم توضع على عربة تتحرك كهربائيا مارا بجميع المحولات-  
الثلاثة ثم تنقل الحمولة الى ونش ذى القضييب الواحد .

ونوجد ثلاث صوامع واحدة للخام والتانية للجبر والأخيرة للبوكسيت،  
وتسحب الكمية اللازمة من كل صومعة حيث توزن ثم تشحن الى المحول  
بالاستعانة بفتحة شحن ( مسقط مواد ) ( انظر شكل ٣٦ ) .

ويجب توخى السهولة فى حركة اماله مسقط المواد لدرجة كافية  
حتى نتمكن من تفريغ المواد فى المحول بسرعة ويسر وتكفى اماله هذا  
المسقط لغاية ٣٨ هـ لانجاز هذه العملية .

ويوضح شكل ( ٣٨ ) جهاز الاسقاط حيث يمكن استخدامه لشحن المواد



شكل ( ٣٨ ) : شوت ( مسقط ) متحرك يسقط المواد المختلفة فى المحول

المطلوبة فى أى وقت أثناء النفخ دون أن يكون هناك ما يدعو لدوران المحول أو توقف ( إيقاف ) عملية النفخ . ويمد جهاز الاسقاط بواسطة ونش كهربى وحداثة تم يضبط فوق فوهة المحول لنفريغ حموله ثم يبعد عن منطقة الغازات الملتهبة المتصاعدة من المحول ويستخدم فى صمغ نهاية المسقط نوع من الصاب ذى المقاومة العالية للحرارة . ويشغل هذا المسقط من غرفة المراقبة . وتسحب كمية الحديد الزهر المناسبة من الخلط ثم تنقل الى المحول فى عربة خاصة ثم تصب فى المحول اما باستخدام ونش علوى متنقل أو باستخدام عربة مزودة بجهاز لاساله البواقي وتتحرك العربة بواسطة الكهرباء ونوزن شحنة الحديد الزهر بميزان خاص مقام فى موقع الخلط ومن المستحسن استخدام الونش العلوى المنحرك لنقل الحديد الزهر من الخلط الى المحول نظرا لسهولة التحكم والسيطرة على حركة البودقة أثناء تفريغ الحديد الزهر مما يكون له أكبر الأثر فى تقليل الفاقد منه .

#### ٥ - أجهزة تنقية غازات المحولات

من الأمور البالغة الأهمية تنقية الغازات والأدخنة التى تتصاعد أثناء نفخ الحديد الزهر بالأكسجين الخالص من أعلا المحول .

ويصاحب نصاعده هذه الغازات أبخرة بنية داكنة تحتوى على كثير من الجزئيات الدقيقة لأكاسيد الحديد والتى يجب ازالتها . ولقد بنيت الأبحاث التى أجريت على هذه الابخرة أن ٥٠ - ٨٠ ٪ منها تحتوى على جزئيات دقيقة حجمها حتى ٠.٥ ميكرون ، وسببة ٥-١٥ ٪ حبيبات يزيد حجمها عن اميكرون . والجدول الآتى (٢١) يعطى النسب المئوية لتركيب الغبار المتصاعد مع غاز المحولات .

ح	م	س أ ٢	كا أ	لو ٢ ٣	مغ أ	فو	كب
٦٠.٧٤	٥٤.٦	١٦.٦٥	١٩.٥	٠.٠٠	٠.٦	١.٠٥	١.٠٥
٦٦.٠٠	٤.٥	٨	٥.٤	٩			
٦٥.٤	٤.٤٤	٨	٣.٨	٩.٨			لا توجد بيانات

وتنغير كمية هذه الأبخرة على مدى كبير يخضع لمعدل نضج الأكسجين وضغطه وارتفاع البويبه نمويل الأكسجين من سطح المعدن ( عمق منطقة التفاعلات ) وأيضا حجم المحلول .

ويتدخل وضع المحول بالنسبة الى مدخنته الى حد كبير في تصعيد  
المخبرة وتنقية الغازات المتصاعدة \*

The diagram illustrates a vacuum furnace system. On the right, a furnace (A) is shown with a gas inlet (B) at the top. A pipe (D) connects the furnace to a condenser (C), which is a vertical vessel with a cooling coil. The condenser is connected to a receiver (E) at the bottom. A pump (F) is connected to the receiver to maintain a vacuum. A gas inlet (B) is also shown on the left side of the furnace.

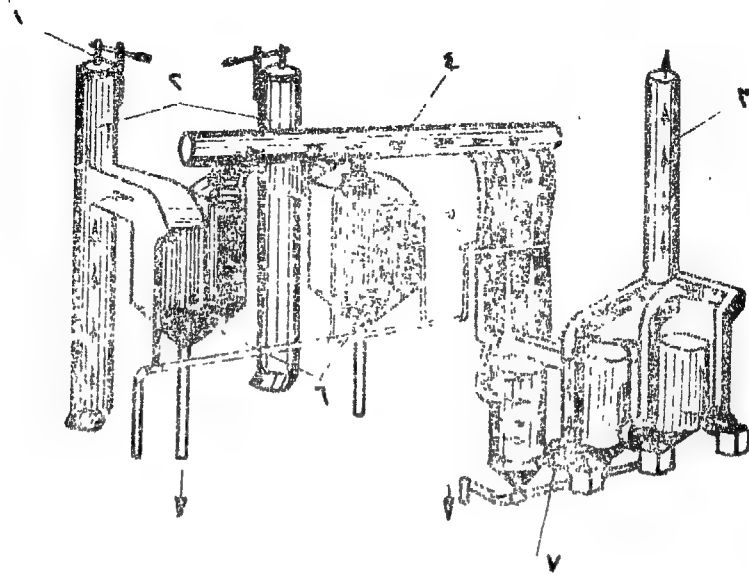
١ - ملحنة	٢ - هوت ( غطاء ) يبرد بالمياه
٣ - انبوبة تبريد بالمياه	٤ - جهاز غسل الغازات
٥ - انبوبة فتتوى	٦ - سيكلون
٧ - مصرف للغازات	٨ - الاقربة



وحدات تنقيه غازات المحولات فى مصنع للصلب يضم ٣ محولات سعه كل منها ٢٥٥ طنا

ويوضع راس وأنبوبة مياه النبريد تأخذ الغازات المنصاعده من المحلول طريقها الى جهاز تنظيف حيث يتم غسلها بواسطة رذاذ الماء المنناثر من رشاشات موجودة به ونستهلك ٣٠٠ طنا من المياه كل ساعة فتترسب أحجام الغبار الكبيرة نسبيا بينما لا تترسب الأتربة فتمر مع الغازات الى ابوبة فنتورى ( لقياس معدل التدفق ) لها اختناق ونقوم بتثبيت الغازات الى أسفل ويوجد أيضا عند اختناق الأنبوبة رشاشات لرش الماء • وبمرور الغازات فى اختناق الأنبوبة تكتسب سرعة كبيرة وتجذب معها ذرات المياه فى جهاز لفصل الغبار الى حد كبير فتترسب دقائق الغبار •

وعندئذ ( تمص ) تسحب الغازات المنفاة بواسطة مضخات تصريف الى مدخنة ارتفاعها ٤٨ مترا وبهذا تنخفض كمية الغبار فى الغازات المنفاة الى حوالى ٥ رجم فى المتر المكعب منها وفى شكل (٤٠) رسم توضيحي لاجدى وحدات تنقيه غازات المحولات باحدى مصانع الصلب فى كندا وهى



شكل (٤٠) : رسم توضيحي لاجدى وحدات تنقيه غازات المحول وجميع الغبار منها :

- |                 |  |                            |
|-----------------|--|----------------------------|
| ١ - صمام الأمان | ٢ - مدخنة مبطنة                            | ٣ - مدخنة                  |
| ٤ - مجمع علوى   | ٥ - انبوبة فنتورى وبها رشاشات متوسطه الضغط | ٦ - جورة تبريد عالية الضغط |
|                 | ٧ - مروحة                                  |                            |

مناسبة لمصنع ذى محولين سعة كل منهما ٤٠ طنا ويوجد فرف كل محول  
منهما كوة مياه التبريد المبطن بالطوب الحرارى ومدخنة ارتفاعها ٣٨ مترا .

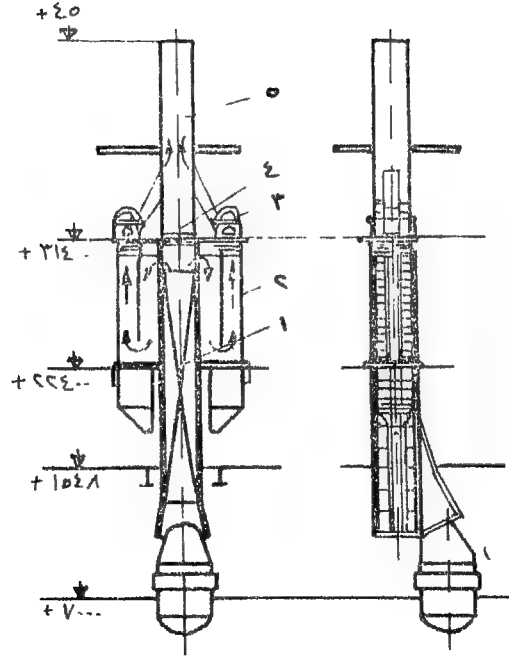
وبسحب الهواء البارد فان درجة حرارة الغازات أسفل كوة التبريد  
لا تزيد عن ٨٥ درجة مئوية وعند ارتفاع معين تنتقل غازات المحرل منها  
من المدخنة الى حجرات مزودة برشاشات للمياه ، تعمل تحت ضغط  
يعادل ١٠٥ر ضغط جوى (مقيسا بمقياس الضغط) وتدفع هذه الرشاشات  
الماء رذاذا بمعدل ٩٧٥ لترا / دقيقة .

ومن غرف التبريد تدخل الغازات الى مجمع ثم تتوجه الى أنابيب  
فنتورى حيث تقابلها رشاشات توجد عند اختناق هذه الأنابيب ثم  
وجه الغازات بعد ذلك الى ( سيفونات ارتفاعها ١ ر ٩ م وقطرها ٣٧ م  
( اثبان منها صالحان للعمل والثالث فى الصيانة ) وبعد ذلك تسحب هذه  
الغازات بواسطة مراوح بمعدل ٢٠٠ م ٣ / دقيقة وتطرد فى الهواء الجوى  
عند درجة حرارة أقل من ٦٠ درجة مئوية .

يتضح لنا الفرق الشاسع فى كمية الغبار الموجود بالغازات  
أولا وكمية فيها بعد الاستخلاص فنجد أن كمية الغبار أولا ١٦  
حجم / م ٣ ثم أصبحت ٥ر١ جم / سم ٣ ويعطينا شكل ( ٤١ ) صورة  
لاحدى وحدات تنقية الغازات الموجودة بالنمسا .

ويستفاد من كمية الحرارة التى تحملها الغازات المتصاعدة من  
المحولات منها فى تشغيل الغلايات وتعتبر كمية الحرارة هذه هائلة اذ  
تنخفض درجة حرارة الغازات من ١٧٠٠ - ١٨٠٠ درجة مئوية الى  
٥٠٠ درجة مئوية .

وتسحب الغازات بعد تبريدها بواسطة مضختي تصريف وتدفع  
الى مصائد الغبار التى تندى بالماء وفى الحال تترسب دقائق الغبار فى  
المصائد المنداة ثم تدفع أو يسمح بخروج الغازات الى الهواء الجوى . ويفتح  
صمام فتتجه على الفور غازات المحول الى المدخنة مارة بالرشاشات المبللة  
بالماء .



شكل (٤١) : جهاز جمع الأتربة واستغلال الحرارة المنطقه مع الغازات  
 ١ - غلاية تعمل بحرارة الغازات  
 ٢ - مرشح يعمل في وسط مبتل  
 ٣ - العادم  
 ٤ - صمام  
 ٥ - أنربة المحول

وبهذه الطريقة تنقى الغازات لدرجة كبيرة فلا نحمل معها فى النهاية  
 الا كمية ضئيلة من الغبار لا تتعدى ١ر - ٢٥ ر كجم/م<sup>٣</sup> .

يمثل جدول (٢٢) التحليل النمطى لغازات المحول على ارتفاع ٨-١م  
 نحت عنق مدخنة المحول أثناء النفخ .

ويتضح من الجدول أن أول أكسيد الكربون هو أهم مكونات هذه  
 الغازات التى نحتوى على كمية من النتروجين ترجع الى عدم نقاوة الاكسجين  
 تماما ودخول نتروجين الهواء الجوى الى المحول ، كما أنه من المحتمل أن  
 يكون بعض النتروجين قد تسرب الى العينة المأخوذة بسبب عدم احكام  
 الوصلات .

جدول ( ٢٢ )

ملاحظات	النسبة المئوية لتركيب انغازات المتصاعدة من المحور							رقم الصبة
	٢ ن	٢ كيد :	٢ يد :	٢ ك١	٢ ك٢	٢ ك٣	٢ ك٤	
أخذت العينة ١ / بعد ٨ دقائق من بدء النفخ . أخذت العينة ٢ بعد ١٠ دقائق . أخذت العينة ٣ بعد ١٢ دقيقة . أخذت العينة ٤ بعد ١٢ دقيقة و لمدة النفخ الكلية ١٦ دقيقة معدل نفخ الاكسجين ٣٧٣٧٠ / دقيقة ضغط الاكسجين ١٢ ضغط جوى ( مقياس الضغط )	٤٧	٦	٧	٨٩١	١٢	٣٧	١	٢٠٤٨٠
	٨٢	١٨	—	٨٣٢	٢	٤٨	٢	
	٤٦	٢٤	—	٨٦	١٥	٥	٣	
	٢٨	٢	١٥	٩١٥	١٦	٢٤	٤	
أخذت بعد ٤٥ ث ، ١ دقيقة من بدء النفخ . أخذت بعد ١٠ . ٦ دقائق أخذت بعد ٤٠ . ١٠ دقائق	٢٦	١	٣٢	٨١٥	٩	١٠٧	١	٢٠٤٨٣
	٩	٤	٣	٨١٦	٢٦	٢٢	٢	
	٢٢	٢	٤	٨٧	١٨٧	٦٣	٢	

ث ق مدة النفخ الكلية ١٢ ٤٥										
١٣	٧٥	١								
١١٥	٧١	٢								
١٢	٧٢	٣								
ث ق أُخذت العينة بعد ٢ من بدء النفخ			٣ر٤	-	٣ر١	٨٠.٧	١ر٤	١١ر٤	١	٢٠.٤٨٥
» ٦ ٤٥ »			٣ر٦	٢	٤ر	٩١ر٢	١ر٦	٤	٢	
» ٩ ٢٠ »			٣ر٢	٢	٧ر	٩٢ر٦	٢	١ر٦	٢	
مدة النفخ الكلية ١٢ دقيقة										
ضخطة الأكسجين ض ج ( مقياس )	معدل تدفق الأكسجين ٣م/دقيقة	رقم العينة								
١٢ر٥	٧٧	١								
١٢	٧٣	٢								
١١	٧١									

## ٦ - المواد الأولية

التعديد الزهر :

يستخدم حديد زهر الافران المفتوحة في المحولات التي تطبق فيها طريقة التفتح العلوية بالأكسجين الخاص .

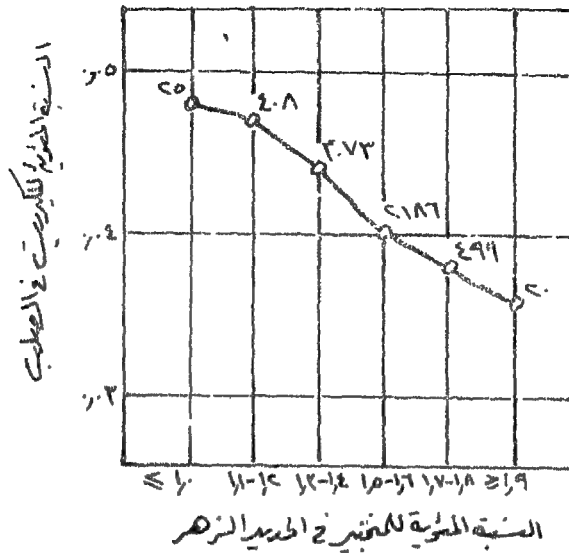
كب			فو			م		س
درجة الحديد الزهر			درجة الحديد الزهر			المجموعة		
٢	٢	١	ج	ب	أ	(٢) (١)		لغاية ٠.٧٥
لا يزيد عن			لا يزيد عن					
٠.٧	٠.٥	٠.٣	٣	٢	١.٥	لغاية ١.٠١-١.٠		
						١.٧٥		

ويحدد التحليل الكيميائي للحديد الزهر سبر العملية وعمر البطانة والنتائج الفنية والاقتصادية للعملية .

وبمعرفة كمية السليكون في الحديد الزهر يتحدد مقدما حجم الحث وما يحتويه من سليكا و بزيادة حجم الحث يشتد قذف الحديد خارج المحول ويرتفع استهلاك خام الحديد والجير .

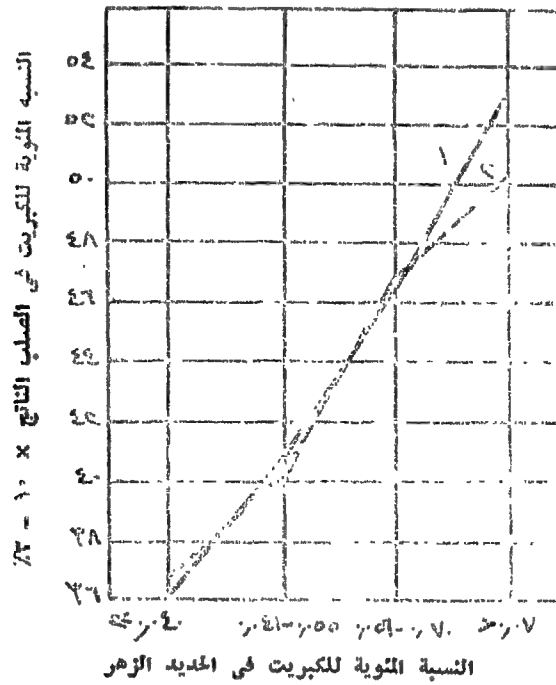
ولزيادة السليكا تأثير سىء على الحرارية القاعدية للبطانة كما تعوق ازالة كل من الفوسفور والكبريت من الصلب .

فى طريقة النفخ العلوية بالأكسجين لا يكون للسليكون المكانة الاولى فى الموازنة الحرارية ولهذا السبب يمكن تحويل الحديد الزهر اذا كانت نسبة السليكون به منخفضة ، أما المنجنيز فيقوم بدور فعال فى ازالة الكبريت ( شكل ٤٢ ) وفى حالة نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على كبريت ٠.٤٪ على الأكثر ويجب أن ترتفع نسبة المنجنيز الى ١.٥٪ اذا كانت نسبة الكبريت بين ٠.٦ - ٠.٦٥٪ أما اذا انخفضت هذه النسبة الى ٠.٥٪ فانه من الممكن أن تقل نسبة المنجنيز الى ١.٣٪ وفى نفس الوقت تضمن ازالة الكبريت بنجاح . ومن المستحسن أن تكون تحاليل الحديد الزهر واقعة تحت المجموعة (٢) اذا استخدمنا طريقة النفخ العلوية لتحويله الى صلب .



شكل (٤٢) : يبين العلاقة بين نسبة الكبريت فى الصلب وكمية المنجنيز التى بالحديد الزهر ( الأرقام المبينة على الخط البياني عند الدوائر تدل على عدد العينات )

وبالنسبة الى كمية الكبريت بالحديد الزهر فقد وجد أن أنسبها  
 ما يقع تحت قسمي (١) ، (٢) وتؤدي الزيادة في نسبة الكبريت بالحديد  
 الزهر الى ارتفاع نسبته في الصلب الناتج ( شكل رقم ٤٣ ) وإذا كانت  
 نسبة الكبريت التي يسمح بها في الصلب الناتج هي ٠.٠٤٪ فانه يمكن  
 الحصول عليها بسهولة اذا احتوى الحديد الزهر على نسبة من الكبريت  
 لغاية ٠.٥٥٪ أما اذا كانت النسب التي يسمح بها في الصلب هي ٠.٥٪  
 أمكن نفخ الحديد الزهر الذي يحتوى على نسبة من الكبريت لغاية ٠.٧٪  
 ولكن في هذه الحالة يجب أن يكون هناك مقابل من المنجنيز لا تقل نسبته  
 على ١.٣٪ .



شكل (٤٣) يبين العلاقة بين نسبة الكبريت في الصلب وكميته في الحديد الزهر  
 ١ - في حالة عدم ازالة الخبث ٢ - في حالة ازالة الخبث

ومن المألوف عمليا ازالة الكبريت من الحديد الزهر باضافة الصودا  
 وغيرها من العوامل المزيله للكبريت ويتم ذلك في بواق الحديد الزهر  
 بين الأفران العالية والخلاط أو قبل شحن الحديد الزهر الى المحول وعندما  
 تتم ازالة الكبريت من الحديد الزهر في البودقة يجب ابعاد الخبث الكبريتي  
 المنكرون عن كل من الخلاط والمحول اذ تصل نسبة الكبريت بهذا الخبث



الى ٠.٠٩٪ ولهذا فانه مهما كانت النسبة التى تدخل المحول صغيرة فان ذلك يجعل ازالة الكبريت بالمحول عسرة .

وعندما يحتوى الحديد الزهر على نسبة من الفوسفور لغاية ٠.١٥٪ فانه يمكننا انتاج صلب به نسبة منخفضة من الكربون دون ازاله الحثب الاصلى أما اذا ارتفعت نسبة الفوسفور عن ذلك أى كانت بين ١٦-٢٥٪/ وجب ازالة الحثب الاصلى وضبط حثب جديد .

وفى مصانع الصلب بالاتحاد السوفيتى يستعمل الحديد الزهر الذى يحوى على التحاليل الآتية فى طريقة العلوية :

ك	٣٩ - ٤٣
س	٥ - ٠.٨
م	١٣ - ١٧
كب	٠.٤ - ٠.٧
فو	٨ - ١٥

وفى النمسا يستخدم الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من المنجنيز ( ١٥ - ٢٧٪ ) وفى أحد المصانع تنخفض نسبة السليكون بالحديد الزهر كثيرا فلا تزيد عن ١ - ٣٪ وقد تصل الى ٢ - ١٠٪ فى مصانع أخرى أما الكبريت فيقع بين ٠.٣ - ٠.٧٪ .

أما فى كندا فمتوسط تحاليل الحديد الزهر بمصانعه كما يأتى :

ك	٤٤
س	١٣
م	١٢
كب	٠.٢٥
فو	١٢٥

ولم تواجه أية صعوبة ( فنية ) عند تحويل الحديد الزهر الذى يحتوى على ١٨٪ فوسفورا .

#### الحردة :

يجب مراعاة خلو الحردة من الشوائب كما يجب أن تكون ذات أحجام صغيرة ويضاف الحردة فى المحول بواسطة أوناشر الشحن أو بالطريقة

العادية فى صناديق بواسطة الأوناش ولما كانت بعض أجزاء من المحول عرضة للتهدشم من جراء سقوط الكتلة الكبيرة من الحردة فوقها فإنه من الواجب أن يراعى تحصينها بصفة خاصة بطوب متين .

وتتحدد كمية الحردة المضافة تبعاً لنسبة السليكون بالحديد الزهر ودرجة حرارته وعادة تتراوح بين ١٥ - ٢٠٪ من وزن شحنة الحديد الزهر .

#### الجير :

لنوع الجير أهمية خاصة فى صناعة الصلب بطريقة النفخ العلوية ويجب مراعاة حفظ الجير من التلف ونعيبته فور حرقه وبحيث يكون متجانساً فى التركيب الكيميائى ومتماثلاً فى أحجامه ومما هو جدير بالذكر أنه يجب ألا تزيد نسبة السليكا به عن ٢٥٪ وكنهاية قصوى لهذه النسبة ٤٪ .

ويجب ألا يزيد العائد من الجير أثناء نكليس به بأى حال من الأحوال عن ١٠٪ كما يتحتم أن يكون الكبريت به أقل ما يمكن .

وقد تزداد نسبة الكبريت بالجير اذا تم تكليس به مع فحم الكوك فى أفران الدست ، وقد تصل أحياناً الى نسبة ٣٪ مما يكون له أبعد الأثر فى ازالة الكبريت من الصلب .

وباستعمال الغاز الطبيعى فى حرق الجير فان نسبة الكبريت به لا تتعدى ٠.٣٪ ويجب ألا يكلس الفحم مع الجير . وقد وجد أن أحسن الأحجام للكتل الجيرية وأنسبها هى ما تقع بين ٥٠ - ١٠٠ مم وقد يسمح بإضافة نسبة صغيرة من كتل الجير ذات الأحجام الصغيرة ٢٠ - ٥ مم .

وليس من المستحسن استعمال الجير الناعم لأنه سرعان ما يتناثر بعيداً خارج المحلول عند تسليط الأكسجين على الشحنة .

وللجير تأثير ملموس فى سرعة تكوين الحث فكلما قلت نسبة الجير الغير نام الاحتراق وكانت أحجامه متماثلة كلما زادت سرعة ذوبانه فى الحديد وتكون حث الجير الحديدى فى وقت وأقصر . وتعتبر الفترة التى يتأخرها تكوين الحث عاملاً سيئاً يضيع خلالها كثير من الحديد وتتأثر بطانة المحول وأنبوبة النفخ .

وإذا لم تكن طبقة الحث كافية تنثر المعدن على أنبوبة النفخ ويؤدى ذلك الى ضياع بعض الوقت حتى يتمكن العامل من تنظيفها .

ولهذا يصبح خضوع مواصفات الجير لرقابة دقيقة أمراً حتمياً وتحدد كمية الجير المضافة الى المحول أساساً بكمية السليكون الموجودة بالحديد الزهر وحامض السليسيك الموجود فى الحام كما تتحدد تبعاً للخام المتاح ويتسبب نقص الجير فى انخفاض قاعدية الحث فى حين لا تذوب الكميات الزائدة منه وتطفو كتلاً من الحث .

هذا ويمكن تحديد الكمية المطلوبة من الشكل البياني ( شكل (٤٤) )  
أو من الجداول ومن الرسم البياني نعين كمية الجير اللازمة كما يأتى :

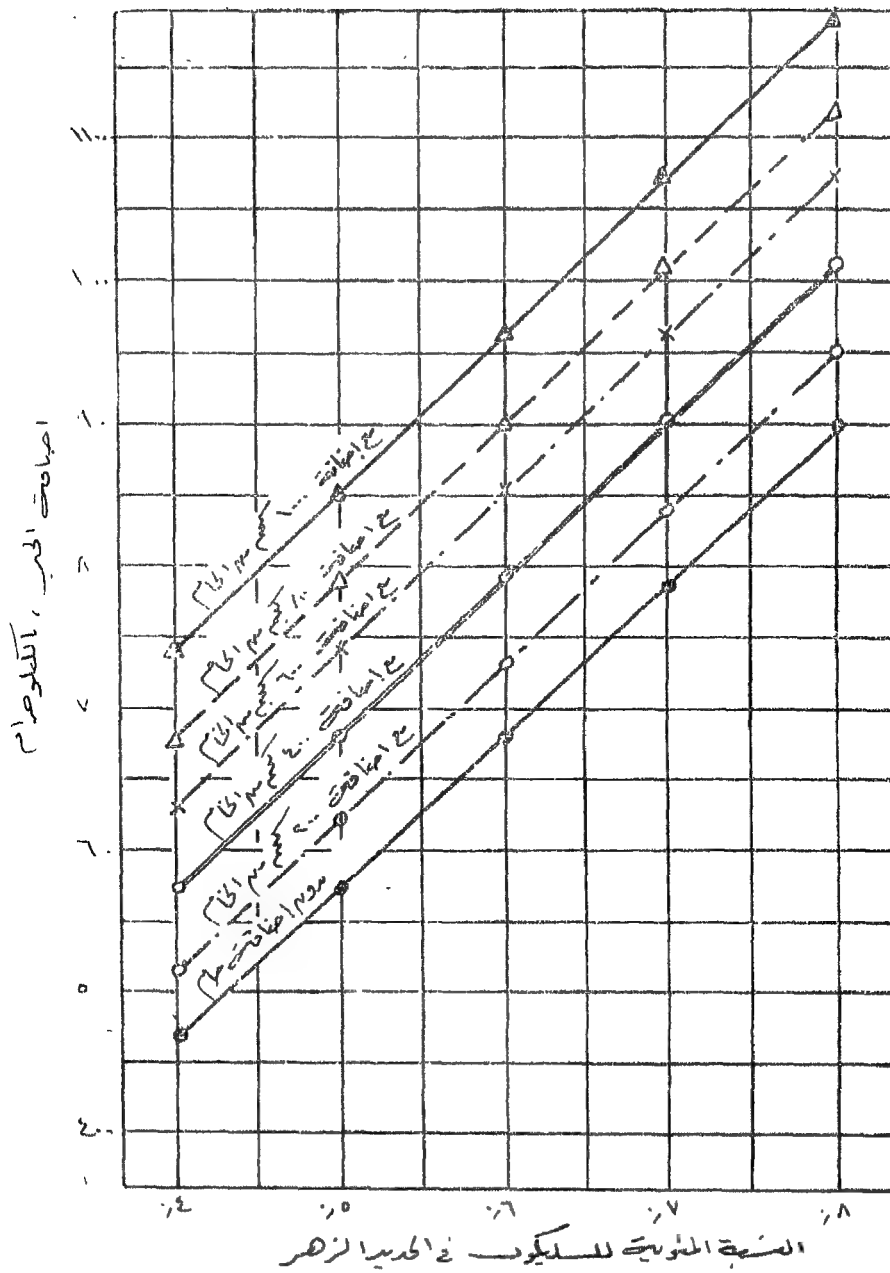
تحدد نسبة السليكون فى الحديد الزهر ولتكن ٠.٦٪ على المحور الأفقى ويرسم خط رأسى من هذه النقطة ينقطع مع أحد الخطوط المائلة والذى تبين كمية الخام المضاف ولتكن ٨٠٠ كجم ومن نقطة التقاطع هذه نرسم خطاً أفقياً يعطى تقاطعه مع المحور الرأسى كمية الجير اللازمة وعلى فى حالئنا هذه تساوى ٩٠٠ كجم .

وتضاف كمية أخرى الى هذه الكمية لضبط الحث الثانى ويرك تحديد حجم هذه الكمية الى الملاحظ الذى يقوم بالعمل اسناداً الى طبيعة الحث المتكون وكمية خام الحديد المضافة . ويتغير استهلاك الجير تبعاً للتركيب الكيمائى للحديد الزهر والطريقة المستخدمة للتبريد ( باضافة الحردة أو خام الحديد ) وتتراوح اضافة الجير بين ٤-٩٪ من وزن الشحنة . . ولقد أصبح الآن فى كثير من الأقطار كالاتحاد السوفيتى وغيره استبدال جزء من الجير بالحجر الجيري أمراً معروفاً .

#### خام الحديد - النفايات الحديدية :

عند اضافة خام الحديد الى شحنة الحديد الزهر مراعاة ألا تزيد نسبة السليكا فيها عن ٨٪ حتى لا يتضخم حجم الحث وتدخل قاعديته كما يجب أن ننعدم بقدر الامكان الخامات ذات الأحجام الدقيقة حيث أنها سرعان ما تتطاير مع الغازات المتكونة أثناء النفخ خاصة اذا أضيفت أثناء النفخ .

ومن البديهي أن تكون نسبة الحديد به مرتفعة ( حوالى ٦٠٪ ) حتى تزداد الكفاءة الانتاجية للصلب النائج . وتعتبر النفايات الحديدية بديلاً جيداً لخام الحديد اذ تتميز بانخفاض نسبة السليكون بها ( لفاية ٢٥٪ ) وارتفاع نسبة الحديد ( حوالى ٧٠٪ )



شكل (٤٤) : خطوط بيانية تحدد وزن البير الذي يجب اضافته في معول سعته ٢٠ طنا

واليك التحليل النمطي لهذه النفايات :

٥٨	ح أ
٣٥٦٪	
٧٠٪	ح ( الكلى )
١٧٥	س أ
٦٢	ل أ
١٤	كا أ
٦	مغ أ
٤٣	م أ
آثار	فو
آثار	كب

ولكى تكون هذه النفايات صالحة للاستعمال يجب أن تتوافر بها بعض المواصفات ، فيجب أن تكون جافة حتى لا تلتصق بفتحة الشحن للمحول .

ويتوقف معدل اضافة خام الحديد على الطريقة المتبعة وعندما تتسبب النفايات المعدنية فى تبريد الشحنة تزود الشحنة بكمية من خام الحديد فغط حتى تزداد اكاسيد الحديد بالخبث مما يسرع باذابة الجير وفى هذه الحالة يكون استهلاك خام الحديد والنفايات المعدنية بمعدل ١٠٠٪ / .

وإذا لم تضاف النفايات المعدنية ( اضافة الخام فقط ) فان معدل اضافة الخام فى هذه الحالة يكون عادة بواقع ٧٠٪ من وزن الشحنة ويقوم العامل المنوط اليه القيام بمتابعة هذه العملية بتنظيم هذا المعدل استنادا الى تحاليل الشحنة ودرجة حرارة المحول ونسبة الكربون بالصلب الناتج ومعدل اندفاع الاكسوجين ودرجة حرارة الصبة السابقة حيث تتحدد طريقة التبريد .

ويستفاد كثيرا اذا استعملنا خامة الحديد التى سبق تركيزها وتكويرها . التى تحتوى على ٦٥ - ٧٠٪ حديدا ، ١٥ - ٢٪ سليكا .

#### البوكسيت والفلوريت ( الفلورسبار ) :

حتى يتكون الخبث سريعا يضاف البوكسيت الى الشحنة بكمية تتراوح بين ٥٠ - ١٠٪ من وزنها ويكون العامل المحدد هو السليكون

الموجود بالحديد الزهر وللألومينا الموجودة بالبوكسيت تأثير كبير على تكوين الحثب .

وترتفع نسبة السليكا بالبوكسيت حتى ١٠٪ وأكسيد الحديد حتى ٥٥٪ أما باقى الشوائب فتتواجد بكميات ضئيلة ( من ٠.١-٣.٥ ٪ ونظرا لشراهة امتصاص البوكسيت لبخار الماء فانه يحتوى على نسبة عالية من الرطوبة ( لغاية ٢٠٪ ) .

ويتتركب الفلوريت من الكالسيوم والفلور اذ أن قانونه الكيميائى هو كافل ٢ وتحتوى الأنواع الجيدة من الفلوريت على أكثر من ٩٢٪ من فلوريد الكالسيوم وتكون نسبة السليكا بها أقل من ٥٪ وترجع أهمية الفلوريت الى مساعدته على سرعة ذوبان الجير فى الحثب لتكوين مصهور الحثب القاعدى .

#### خام المنجنيز :

لقد وجد عمليا أنه فى بعض الأحيان تسهل عملية ازالة الكبريت باضافة خام المنجنيز وعند استعمال طريقة النفخ العلوية بالأكسجين الحالى يجب اضافة خام المنجنيز الذى يحتوى على أكثر من ٤٥٪ من المنجنيز وعلى أقل من ١٠٪ من السايكا .

### ٧ - مراحل النفخ - التفاعلات التى تحدث داخل المحلول

#### تكوين الحثب

تضاف الى شحنة الحديد بالمحلول المواد المختلفة اللازمة كالحردة والجير وخام الحديد والنفايات المعدنية أو قوالب الحجر الجيرى والبوكسيت . وقد تضاف مواد أخرى الى شحنة الحديد الزهر بعد صبها فى المحول . ثم يتمت المحلول بعد ذلك فى وضع رأسى وعندئذ تنخفض أنبوبة تمويل الأكسجين وتضبط فوهتها النحاسية على ارتفاع معين من سطح الشحنة ويسمح للأكسجين بالاندفاع الى الحديد .

وتعتبر المسافة بين فوهة الأنبوبة وسطح الحديد من أهم العوامل التى تؤثر فى سبر عملية النفخ وظروف تكوين الحثب وكمية الحديد الضائعة وأيضا عمر الأنبوبة .

وفى البداية يندفع الأكسجين من فوهة الأنبوبة التى تكون على أقل ارتفاع حوالى ٧٠٠-٨٠٠ مم فوق سطح الحديد فى المحول ذى سعة

٢٥ طنا وبمعدل ٧٠-٨٠ م<sup>٣</sup> من الأكسجين فى الدقيقة وبهذا نضمن اعتدال الاحتراق \*

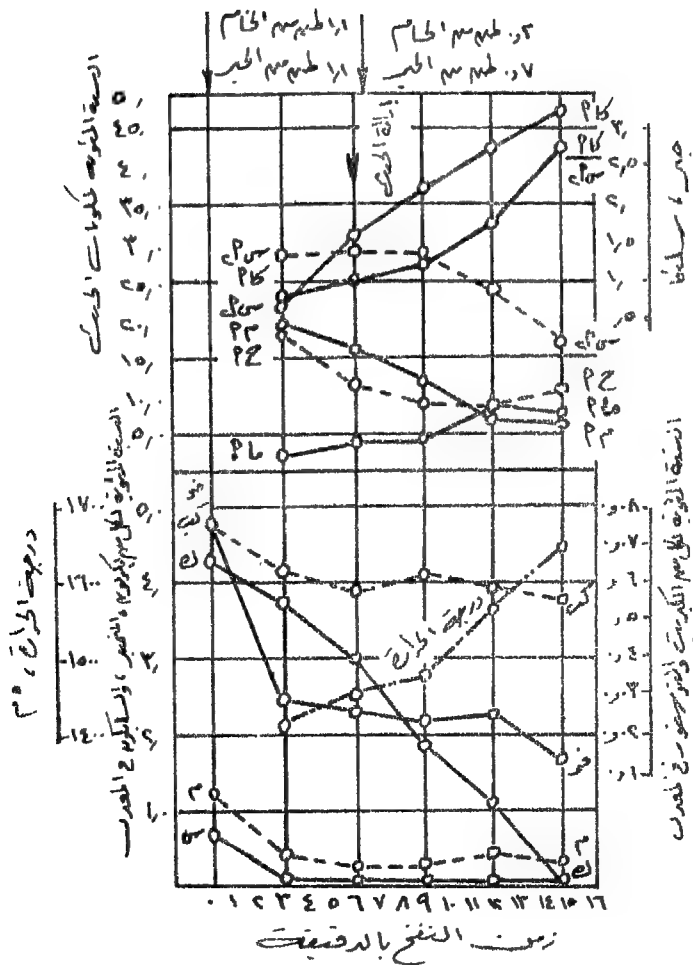
ويجب ألا تنخفض الأنبوبة أكثر من ذلك حتى لا تتاكل فوهتها سريعا اذ تتعرض لتأثير قطرات المعدن شديدة السخونة التى تتناثر عليها من منطقة التفاعلات فتستهلك فى وقت قصير \*

وباختراق تيار الأكسجين لطبقات شحنة الحديد يتأكسد الحديد أولا الى أكاسيد الحديد التى تقوم بعد ذلك بأكسدة العناصر الأخرى كالسليكون والمنجنيز والكربون والفسفور ولكن جزءا من هذه العناصر الموجودة بمنطقة التفاعلات يتأكسد مباشرة بانحاده بالأكسجين \*

ونرى فى شكل (٤٥) صورة نمطية لأكسدة الشوائب وتكوين الحثب لشحنة ٢٥٧ طنا من حديد زهر الافران المفتوحة تم تحويلها الى صلب بطريقة النفخ العلوية بالأكسجين خلال فوهة اسطوانية الشكل قطرها ٤٢ مم \*

فى خلال ثلاث دقائق من بدء النفخ يتأكسد كل السليكون متحولا الى سليكا ثم يتأكسد كل من المنجنيز والكربون والفوسفور فى نفس الوقت وتتميز هذه الطريقة عن النفخ بالهواء حيث يبدأ الفوسفور فى الأكسدة فقط فى فترة ما بين النفخ عندما ينخفض الكربون فى الصلب الى ٠.٤-٠.٥٪ فى خلال الثلاث دقائق الأولى من النفخ عندما يأخذ كل من السليكون والمنجنيز فى التأكسد بتأكسد الفوسفور بشدة بينما يكون معدل تأكسد الكربون فى هذه الفترة أقل منها فى الفترات التالية وفى هذه الفترة تكون كمية أكسيد الكالسيوم بالحثب غير كافية وتنحدد الأكاسيد الحامضية كثنائى أكسيد السليكون وخامس أكسيد الفوسفور أساسا بالأكاسيد القاعدية كأكسيد الحديد وزو أكسيد المنجنيز وتتكون سليكات الحديد والمنجنيز ( ٢ ح ١ س ١، ٢ م ٢، ٠ س ١ ) وفوسفات الحديد ( ٣ ح ١، ٢ فو ٢، ٠ ) وتصل قاعدية الحثب بعد ثلاث دقائق من بدء النفخ الى ٧٧٪ وترتفع الى أكثر من الواحد الصحيح بعد ستة دقائق من النفخ ولذا تنخفض أكاسيد الحديد به

ويزال الحثب بعد ٦ دقائق ، ١٠ ثوان من بدء النفخ وكقاعدة يزال الحثب بعد خمس أو ست دقائق من بداية النفخ ٠٠ وقبل ابعاد الحثب الأساسى بدقيقة أو دقيقتين ترفع أنبوبة تمويل الأكسجين الى ١٠٠٠ -



شكل (٤٥) : يبين التغيرات الكيميائية التي تطرأ على كل من المعدن والخشب أثناء فترة النفاذ

١٢٠٠ مم فوق سطح الحديد أو يخفض تدفق الأكسجين مدة ونصف أو مرتين وهذا يتيح لتفاعلات الأكسدة عند السطح أن تبدأ فتزداد أكاسيد الحديد في الخشب ويزداد حجمه مما يساعد على انسكابه عند امالة المحول

وبأخذ هذه الاعتبارات يضاف أحيانا بعض خام الحديد قبل ازالة الخشب بدقيقة أو بدقيقتين بهذا تنتهى الفترة الأولى .

بعد ازالة الخشب الاصلى يضاف الجير وخام الحديد واليوكسيت الى المحول وتبدأ الفترة الثانية من فترات النفخ فتظل أنبوبة الأكسجين عند



وضعها العلوى لدقيقة أو دقيقتين حتى نزداد كمية أكاسيد الحديد في الحث فيذوب الجير بسرعة ثم تعاد بعد ذلك الى وضعها الأصلي حتى نهاية عملية النفخ .

وفي هذه الفترة ينفرد الكربون بعملية الأكسدة وتنخفض كثيرا كمية أكاسيد الحديد بالحث حيث يصل معدل أكسدة الكربون الى ٠.٣٥٪ في الدقيقة . وتعمل الزيادة في درجة الحرارة بين الدقيقة التاسعة والدقيقة العاشرة على اخزال المنجنيز وقليل من الفوسفور .

ويعزى هذا الى انخفاض كمية أكاسيد الحديد بالحث .

وفي الدقائق الأخيرة من فترة النفخ عندما تنخفض نسبة الكربون في الصلب الى ٠.١٪ ترتفع كمية أكاسيد الحديد في الحث وهذه الأكاسيد بدورها تؤكسد المنجنيز والفوسفور فتتخفض مقاديرها باطراد كلما اقتربنا من نهاية النفخ للحصول على صلب منخفض الكربون .

وطول فترة النفخ ترتفع قاعدية الحث تدريجيا حتى تصل الى ٢٧٢ عند نهاية النفخ وتعتبر بطانة المحول التي تتركب من الكروموجنيزيت المصدر الوحيد لأكسيد الماغنسيوم الذي يظهر في الحث .

وعادة يتغير التركيب الكيميائي للمخبث الأصلي ( الذي يتكون خلال ٨-٦ دقائق الأولى من فترة النفخ ) في الحدود التالية ويرجع هذا التغير الى تركيب الحديد الزهر وظروف النفخ والاضافات الأخرى ( خام الحديد والجير والبوكسيت )

س أ ٢	٢٧-٢٥
كا أ	٣٥-٣٢
كا أ:س أ ٢	١٣-١٢
ح أ	١٧-٦
م أ	١٦-١٠
لو ٢ أ	٥-٢.٥
مغ ٢	٥-٣

جدول (٢٣)

ونبعا لكمية الحث الأول الذي تمت ازالته والاضافات المختلفه كالجير وال خام والبوكسيت ، ظروف التشغيل ونسبة الكربون في الصلب الناتج يصير تحليل الحث النهائي كما يأتي :-

٢٢ - ١٤	س ٢ أ
٥٠ - ٤٢	كا أ
٣٥ - ٢٥	كا أ : س ٢ أ
١١ - ٥	ح أ
١٤ - ٧	م أ
٧ - ٣	لو ٢ أ
٨ - ٤	مغ أ

### القواعد الخاصة لازالة الفوسفور

فى مستهل عملية النفخ العلوى بالاكسجين يتأكسد الفوسفور  
سريعا وفى الواقع انه لا يمضى أكثر من ثلاث دقائق من بدء النفخ حتى  
يتم تأكسد الفوسفور كله .

ويساعد على ذلك تكوين مصهور خبث الجير الحديدى ( أنظر شكل  
٢٥ ) وتتوقف نسبة الفوسفور بالصلب على كمية أكسيد الحديدوز  
الموجودة بالخبث فىقل نسبة الفوسفور بالصلب بزيادة كمية أكسيد  
الحديدوز بالخبث كما هو مبين بالجدول ٢٤ الذى تم اعداده بطريقه  
احصائية على عدد كبير من الصببات نفخت بالاكسجين النقى من أعلا  
فى محول سعة ٢٥٥ طنا وكانت نسبة الفوسفور بالحديد الزهر  
٠.٠١ % .

ويمكن ازالة الفوسفور بسهولة برفع أنبوبة دفع الاكسجين وخفض  
ضغطه حتى يتأكسد الخبث جيدا كما أن إضافة خام الحديد تساعد على  
ازالة الفوسفور بنجاح .

النسبة المئوية لأكسيد الحديد في الجبس								عدد انصبات متوسط النسبة المئوية للفوسفور
المجموع الكلي انصبات	١٥ر١	١٣ر١	١١ر١	٩ر١	٧ر١	٥ر١	نغاية ٥	
	-	١٥	١٣	-	-	٩	٧	
٤٠٤٨	١٦١	١٦٣	٢٢٣	١٠٠٠	١٥٢٩	٦٨٠	١٨٢	
١٩ر٠	٢١ر٠	٢٤ر٠	٢٦ر٠	٢٨ر٠	٣٣ر٠	٣٨ر٠		

ويبين جدول ٢٥ مدى ارتباط نسبة الفوسفور في الصلب الناتج بقاعدة الخبث التي يحتوى على ٧ - ٩٪ من أكسيد الحديدوز ويحتوى الصلب على ١٤ - ٢٢٪ كربونا .

قاعدية الميث							عدد انصبات للفوسفور متوسط النسبة المئوية
٢٢ر٦	٢٥ر١ - ٢١ر١	٣ - ٢ر٦	٢٥ر٥ - ٢ر١	٢٥ر٦	٢٥ر٢	١٧ر٠	
٦٤	٢٦١	٢١٦٠	٩٧٦				
٢٠٣ر٠	٢٧ر٠	٢٥ر٠	٢٢ر٠	١٧ر٠			

وبالتحكم في ظروف تشغيل النفخ يمكننا الحصول على صلب يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور مهما كانت كمية الكربون به .  
فمثلا صلب القضبان الذى يحتوى على ٥٠ - ٣٧٪ كربونا تتراوح نسبة الفوسفور به بين ٠.٢٠ - ٠.٤٠ / وعادة ما يقب الصلب الناتج من المحول خلال فتحة لمنع اختلاط الصلب بالخبث وذلك لنقله الى الفرن الفوسفورى وعودته ثانية الى الصلب .

### ازالة الكبريت من الصلب

يسبب فعل القصر للخبث فى اعاقه عملية ازالة الكبريت من الصلب ولهذا السبب يجب أن تكون كمية الكبريت فى الحديد الزهر فى حدود ضيقة جدا وبقدر الامكان ويزال الكبريت من الحديد الزهر بعد خروجه من الفرن العالى وقبل صبه فى المحول .  
وفى أثناء النفخ تنخفض كمية الكبريت بالصلب فى الدقائق الست الأولى ( انظر شكل ٤٥ ) ودرجة ازالة الكبريت خلال هذه الفترة تساوى

$$\text{درجة ازالة الكبريت} = \frac{(0.76 - 0.08) \times 100}{0.76} = 93.7\%$$

وبإضافة الجير بعد ازالة الخبث من المحول تزداد نسبة الكبريت زيادة طفيفة لاحتواء الجير على نسبة عالية من الكبريت ( ٠.٢٣٪ ) ثم ما تلبث هذه النسبة أن تنخفض ثانية ولا تتعدى درجة ازالة الكبريت النهائية ٢٦.٣٪ ولكي يزال الكبريت لدرجة كبيرة يلزم أن يكون الخبث ذا سيولة كبيرة وقاعدية عالية مع احتوائه على كمية اقل من أكاسيد الحديد كما تساعد الحرارة المرتفعة والتقليب الشديد للمعدن على ازالة الكبريت بنجاح وتنوافر هذه الظروف مجتمعة عندما يستخدم الأكسجين فى نفخ الحديد الزهر .

وبالرغم من ذلك تصادفنا أثناء ازالة الكبريت بعض المشاكل والصعاب نتيجة لتكون الخبث فى وقت متأخر ( عند نهاية النفخ ) بالتركيب الكيمائى المطلوب أو لعدم الوصول الى درجة الحرارة العالية التى تناسب هذه العملية .

وبعض مكونات الخبث لها تأثير فعال وقوى فى ازالة الكبريت ومن هذه المكونات السليكا وأكسيد الكالسيوم - قاعدية الخبث - وأكسيد المنجنيز .

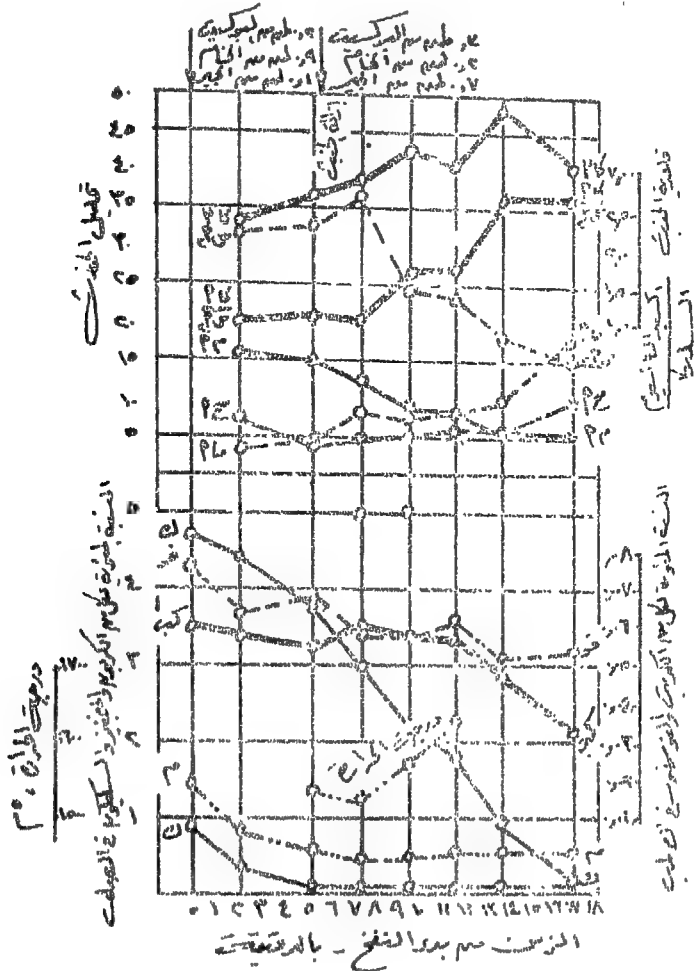
يبين جدول (٢٦) تأثير قاعدية الخبث على كمية الكبريت بالصلب ودرجة ازالته من الحديد الزهر الذى يحتوى على ٠.٦ - ٠.٦٥٪ كبريتا، ١.٣٥ - ١.٥٪ منجنيزا ، ٠.٦٪ سليكونا .

	قاعدة الخبث كا ١ / س ٢١					
	٢٢٦	٢٢١ ٢٢٥	٢٢٦ ٢	٢٢١ ٢٢٥	٢٢٠ حتى	
يحتوي الحديد الزهر - على ٠.٦٥ - ١٪ كرب، ٥ - ١٪ م على حوالى ٠.٦٪ س صلب فوار به ٠.٧ - ١.٢٪ ك	١٩٣ ٢٠٣٧ ٤١٣٣	٨٦٤ ٧٠٣٨ ٣٩٨٨	٣٠٥٨٣ ١٠٤١ ٣٥	١٨٥١ ٣٠٤٤ ٣٠٢٢	٥٩ ٢٠٤٧ ٢٥٢٤	عدد الصببات النسبة المئوية للكبريت درجة إزالة الكبريت

وبالرغم من ذلك فان درجة ازالة الكبريت عندما تصبح قاعدية الخبث ٢٦ - ٣٠ أى فى الحدود المألوفة ويرجع ذلك الى ارتفاع لزوجة الخبث مع ارتفاع قاعديته ويعطى الخبث ذو القاعدية ٢٦ - ٣ اذا كانت سيولته كبيرة - نتائج أفضل .

**التأثير الناتج عن اضافة البوكسيت والفلوريت اثناء ازالة الكبريت :**  
يعطى شكل (٤٦) فكرة عن التغيرات التى تطرأ على كل من الصلب والخبث لشحنه وزنها ٢٥٥ طنا بعد اضافة البوكسيت اليها وهذه البيانات توضح لنا ما يأتى :

١ - اضافة البوكسيت يسرع من تكوين الخبث وتتعدى قاعديته الواحد الصحيح وفى غضون دقيقتين و ١٠ ثوان ( بينما لا تتعدى هذه



شكل (٤٦) : التغيرات التى تطرأ على التركيب الكيميائى لكل من المعدن والخبث اثناء النفخ مع اضافة البوكسيت

انفاعلية ٧٧ وفى وقت يزيد عن ذلك بثلاث دقائق اذا لم يضاف البوكسيت الى الشحنة ( انظر شكل ( ٤٥ ) وبعد ٩ دقائق و ٣٣ ثانية تقفز القاعدية الى ١٧٣ و تصبح ٢٦٥ قبل نهاية النفخ بثلاث دقائق و ١٥ ثانية فى وجود لو ٢ ٣١ بنسبة ٦٢ - ٥١٪ وكانت سيولة الخبث مرضية . وفى خلال هذه المدة تنخفض كمية الكبريت فى الصلب من ٠٤٧ ر الى ٣٣٪ وبذلك تصبح درجة ازالة الكبريت الكلية ٤٥٪ وبدون اضافة البوكسيت يتكون الخبث بنفس القاعدية السابقة عند نهاية النفخ فقط ولا تنجح ازالة الكبريت بدرجة عالية ويحتوى مثل هذا الخبث على ٣٤٢٪ لو ٢ ٣ فقط .

٢ - يعرقل انخفاض نسبة أكسيد الحديد بالخبث من فاعليته فى ازالة الفوسفور .

٣ - تزداد كمية الماغنيزيا ( أكسيد المغنسيوم ) فى الخبث باسمرار وتبلغ هذه الزيادة ذروتها أثناء الدقائق الثلاث و ١٥ ثانية الأخيرة من فترة النفخ .

٤ - لا يكون لاضافة البوكسيت أى تأثير على تأكسد كل من السليكون والمنجنيز والكربون .

ويجب ربط كمية البوكسيت المضافة بنسبة السليكون الموجود بالحديد الزهر واذا كانت كمية السليكا بالخبث عالية عمل البوكسيت على زيادة السيولة فيزداد ناكل حراريات البطانة بالمحول .  
ويضاف البوكسيت بالطريقة الآتية فى أحد مصانع الصاب بالاتحاد السوفيتى :-

١ - اذا احتوى الحديد الزهر على عنصر السليكون لغاية ٠٧٪ وعنصر الكبريت لغاية ٠٧٪ وأضيف ٠٤٪ من البوكسيت أولا قبل النفخ ثم يضاف ٠٦٪ بعد ازالة الخبث أما اذا أضيفت كل الكمية دفعة واحدة قبل النفخ فانه يلزم اضافة البوكسيت بواقع ١٪ من وزن الحديد الزهر .

٢ - وفى حالة احتواء الحديد الزهر على عنصر السليكون لغاية ٠٥٪ وزيادة الكبريت عن ٠٧٪ يضاف ٠٨٪ بوكسيت قبل النفخ ثم يضاف ثانية ١٢ بعد ازالة الخبث .

٣ - اذا زادت نسبة السليكون بالحديد الزهر عن ٠٧٪ لا يضاف البوكسيت خلال الفترة الأولى من فترات النفخ بل يضاف أثناء الفترة الثانية بنسبة ١٪ .

وبتثبيت العوامل الأخرى فان درجة ازالة الكبريت تزداد باضافة البوكسيت كما فى الجدول التالى :

النسبة المئوية للكبريت في الحديد الزهر					
لغاية ٥٠ ر	٥١ - ٦٠ ر	٦١ - ٧٠ ر	٧١ - ٨٠ ر		
١٨٦	٢٥٢	٣١٨	٤١٦		درجة ازالة الكبريت باضافة ١/١ من الكبريت
١٣٦	٢١٩	٢٣٥	٢٩		درجة ازالة الكبريت بدون اضافة البوكسيت



ويلاحظ ان درجة ازالة الكبريت تزداد بارتفاع سبته في الحديد  
الزهر . من هذه البيانات يتضح أن اضافة البوكسيت تعمل على ازالة  
الكبريت من الصلب بسهولة كما تساعد على سرعة ذوبان الجير وتكوين  
خبث ذى سيولة عالية وقاعدية مناسبة .

ولضمان ازالة الكبريت بدرجة كبيرة يضاف الى الشحنة كميته من  
الفلوريت بمعدل ٥ كجم لكل طن من الحديد قبل ازالة الخبث الأول وتقل  
هذه الكمية الى ٢ كجم لكل طن اذا أضيف الفلوريت بعد ازالة الخبث .

وفى هذه الحالة ترتفع درجة ازالة الكبريت الى أكثر من ٣٥٪ ،  
انخفضت كميته بالحديد الزهر .٠٠ فنجد أنها تبلغ ٣٩٪ اذا احمى  
الحديد الزهر على كبريت بنسبة ٠٣ر - ٠٥٣٪ مما يتيح أمامنا الفرصة  
لصناعة الصلب من الحديد الزهر الذى يحتوى على كبريت ٠٢٨٪  
وبدون اضافة الفلوريت فان درجة ازالة الكبريت لمثل هذا النوع من  
الحديد الزهر لا يزيد عن ١٨ر٦٪ .

**تأثير وجود أكسيد المنجنيز فى الخبث على كمية الكبريت فى الصلب :**

يبين جدول ٢٨ تأثير أكسيد المنجنيز م أ فى الخبث على كميته  
الكبريت فى الصلب مع العلم بأن قاعدية الخبث ٢٦ر - ٢ ، ويحتوى  
الحديد الزهر على ٠٦ر - ٠٦٥٪ منه كبريتا .

النسبة المئوية لأكسيد المنجنيز في الخشب						
النسبة المئوية	١٥ - ١٣	١٢ - ١١	١١ - ٩	٩ - ٧	٧ إلى	
١٥٠١	١٦٨	٢٥٦	١٩٣١	٢٩٦٨	١٤٠٠	٨٨
٢٠٣٥	٢٠٣٦	٢٠٣	٢٠٤	٢٠٤٢	٢٠٤٦	متوسط كمية الكبريت
٤٤٥	٤٢٩	٩٩٨	٢٦٥	٢٣٤	٢٧	درجة إزالة الكبريت

يتضح من الجدول السابق أن ارتفاع نسبة أكسيد المنجنيز بالخبث تزيد من درجة إزالة الكبريت وباستبعاد الخبث الأول يستبعد جزء كبير من أكسيد المنجنيز عن المجموعة أولا يشترك في إزالة الكبريت من الصلب ويصبح المتبقى منه في الخبث الجديد ( بعد ضبطه ) ٦ - ٨ / ( انظر شكلي ٤٥ - ٤٦ ) وبهذا نحقق درجة إزالة الكبريت المنشودة .

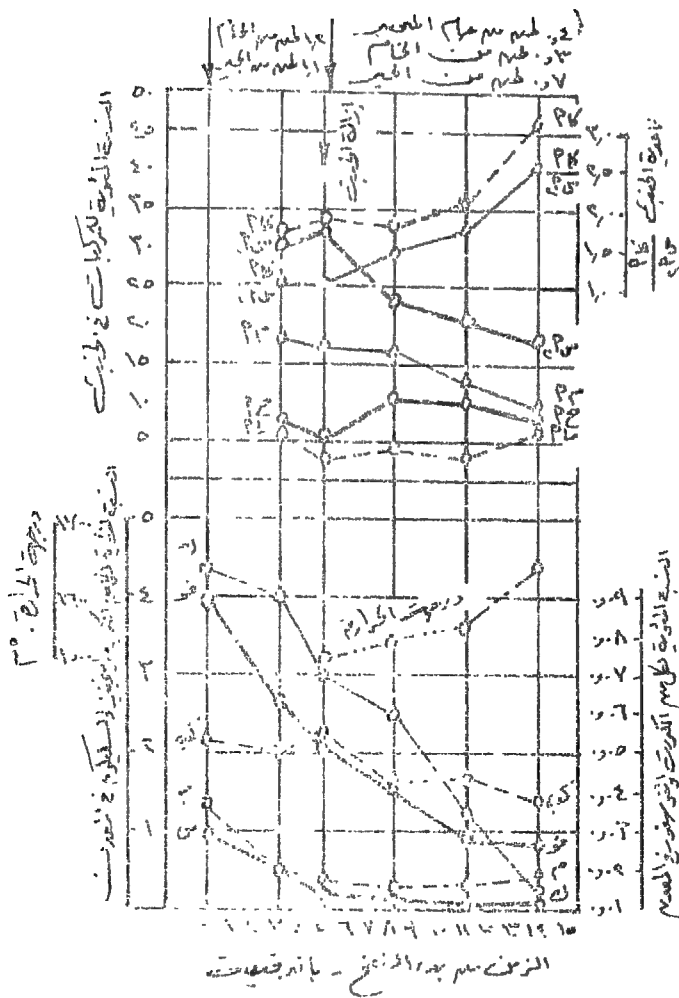
ولهذا السبب فانه لتخفيض نسبة الكبريت بالصلب يضاف الفيرومنجنيز الى المحول بعد ازالة الخبث لتعويض كمية أكسيد المنجنيز المفقودة مع الخبث .

### إضافة خام المنجنيز في المحولات

لرفع كمية أكسيد المنجنيز في الخبث يمكن إضافة الخام الغني بالمنجنيز في المحول بعد ازالة الخبث الأصلي منه . ونرى في شكل (٢٧) سلوك شحنة أضفتم إليها خام المنجنيز بنسبة ١٦٪ من وزنها بعد أن تم استبعاد الخبث من المحول .

وبالرغم من وجود أكسيد المنجنيز بكمية كبيرة في الخبث نظرا لانخفاض قاعدية فان كمية الكبريت في الصلب لا تنقص قبل ازالة الخبث . وبعد ازالة الخبث ترتفع قاعدية الخبث في الوقت الذي تزداد فيه كمية أكسيد المنجنيز بإضافة خام المنجنيز مما يساعد على ازالة الكبريت فتتقصر نسبته من ٠.٥٥ ر. الى ٠.٤٢ ر. ثم أخيرا الى ٠.٣٨ ر. .

ويلاحظ ارتفاع كمية أكسيد المنجنيز في الخبث النهائي لإضافة خام المنجنيز بعد اجراء عملية الخبث .



شكل (٤٧) : التغير في التركيب الكيميائي في كل من المعدن والخبث خلال فترة النفخ ، وذلك عند اضافة خام المنجنيز

كما يشاهد بالمقارنة من التذبذب الذي يطرأ على كمية أكسيد المنجنيز في الخبث باستخدام خام المنجنيز أو بدون استخدامه ( جدول ٢٩ ) .

النسبة المئوية لأكسيد المنجنيز في الخبث				
١٥	١٤ - ١٢	١١ - ٩	٨	النسبة المئوية لعدد الصبات : دون استخدام خام المنجنيز باستخدام خام المنجنيز
٦	١٠ و ٨	٧ و ٤	٩ و ٢	
٣٠ و ٤	٣٩ و ٢	٢١ و ٨	٨ و ٧	

وكقاعدة اذا لم يكن هناك اضافته من خام المنجنيز فان كمية اكسيد المنجنيز فى الخبث تقع بين ٩ - ١١٪ أما اذا أضيف خام المنجنيز فان الفرق الكبير فى كميته يقع بين ١٢ - ١٥٪ .

وكثيرا ما يساعد وفرة أكسيد المنجنيز فى الخبث على ازالة التبريت من الصلب وقد لوحظ أن ٦٣٪ من الشحنتات التى أضيفت اليها خام المنجنيز فى الفترة الثانية قد احتوت فى النهاية على كبريت تصل نسبته الى ٠.٥٪ بينما لا يتعدى عدد الصببات بهذه النسبة من الكبريت عن ٣.٤٪ اذا تم النفخ بدون اضافة خام المنجنيز اليها .

ومن هذا ينصح ان اضافة الخام الغنى بالمنجنيز بعد الخبث الأول فى طريقة النفخ العلوية بالاكسجين الخالص وتحسن كثيرا من عملية التخلص من الكبريت .

وحتى نحصل على نتائج طيبة عند صناعة صلب ذى كبريت منخفض من الحديد الزهر بنفخه بالاكسجين الخالص يلزم لنا ما يأتى : ..

١ - اذا كان المطلوب عدم تعدى نسبة الكبريت بالصلب عن ٠.٤٪ فإنه يجب ألا يزيد نسبته فى الحديد الزهر عن ٠.٥٪ كما يجب ألا تقل نسبة المنجنيز عن ١٥٪ .

وإذا زادت نسبة الكبريت بالحديد الزهر عن هذه النسبة كان لزاما علينا التخلص منه فى البواشق بواسطة رماد الصودا ( صودا آش ) أو غيرها .

٢ - يراعى أن تكون سيولة الحبث عالىة وقاعدته مناسبة فى وقت مبكر بقدر المستطاع أى قبل الدقائق الخمس الاخيرة من فترة النفخ ويساعد على هذا اضافة البوكسيت .

٣ - يجب أن يحتوى الخبث فى الفترة الثانية على كمية كافية من أكسيد المنجنيز واطافة الخام الغنى بالمنجنيز كقيلة بتحقيق ذلك بعد التخلص من الخبث الأول .

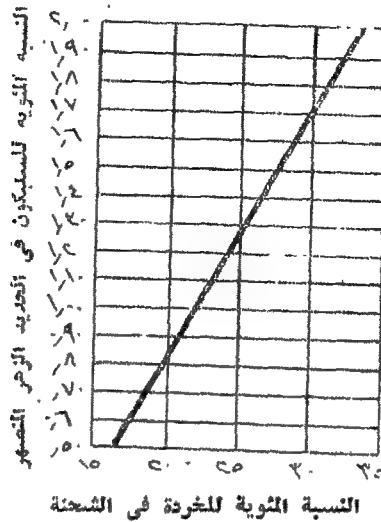
٤ - من الأهمية بمكان أن تكون درجة الحرارة عالية حتى نتخلص من الكبريت بنجاح .

### ضبط درجة حرارة الشحنة أثناء النفخ

يتأثر عمر بطانة المحول بالتغيرات التى تطرأ على درجة الحرارة داخله كما تنعكس ظروف الحرارة على وجود المعدن وكمية الحديد الضائعة .

وبمخ الحديد الزهر بالاكسجين الخالص يوفر لدينا كمية كبيرة من الحرارة كانت نضيق مع النروجين الساخن في حالة نفخ الحديد من أسفل المحول بالهواء فقط .

وقد وجد ان كمية هذه الحرارة الصائغة مع الغازات المتصاعدة من محولات بوماس وبسمر حيث يتم النفخ خلال القاعدة وبالهواء تبلغ حوالى ٢٣ - ٢٩٪ وتنخفض هذه النسبة اذا ما تم النفخ بالاكسجين الخالص الى ٦ - ٨٪ وتسغل الحرارة الفائضة في صهر كمية كبيرة من الخرقة أو خام الحديد وتتحدد هذه الكمية سلفا بمعرفة درجة الحرارة التي وصلت اليها الشحنة وكمية السليكون الموجودة بالحديد الزهر كما أن التشغيل المستمر للمحول يؤدي الى رفع درجة حرارة بطانة المحول ويعطى الفرصة لزيادة كمية المبررات المضافة ( الخرقة والخام ) وفي شكل (٤٨) نرى العلاقة التى تربط بين كمية المبررات المضافة ومقدار السليكون بالحديد الزهر . ولما كان دور هذه الاضافات هو تبريد الشحنة لذلك فانها تضاف دون تسخين ، وفي الظروف التى تستخدم فيها النفايات الناتجة عن عمليات الدرفلة وغيرها - يراعى استغلالها بالكامل في تشغيل المحولات .



شكل (٤٨) : بين العلاقة بين كمية الخرقة المضافة ونسبة السليكون في الحديد الزهر .

#### استخدام خام الحديد كعامل مبرد :

يضاف خام الحديد منفردا لأغراض التبريد قبل النفخ أو أثناء الفترة الثانية بعد التخلص من الخبث الاصلى . ويتحدد وزن الخام

المضاف بكمية السليكون الموجودة بالحديد الزهر مضاف بنسبة ٢ - ٣٪ إذا كانت نسبة السليكون ٠.٤ - ٠.٦٪ ويضاف بنسبة ٨ - ١٠٪ إذا كانت نسبة السليكون ٠.٦ - ٠.٨٪ .

وقد يضاف الخام في الفترة الثانية بعد إزالة الخبث وعلى دفعة واحدة مع الجير والبوكسيت أو على عدة مرات طوال الفترة الثانية .

ولكن إضافة الخام دفعة واحدة فور إزالة الخبث لا تضمن تبريداً مناسباً كما ينبغي وإضافته كمية كبيرة من الخام بسبب تبريداً للمعدن فور شحنها وتوفر من اخزال الحديد . وعندما نشحن الشحنة بعد اضافته كمية الخام بدقة ونصف أو دقيقتين تبدأ تفاعلات بين الخام وعناصر الكربون الموجود بالمعدن مع تناثر المقذوفات الحديدية خارج المحول .

وبمقارنة إضافة الخام الى المحول في الفترة الثانية دفعة واحدة وإضافته على ثلاث دفعات متساوية بين كل دفعة والأخرى ٢ - ٣٥ دقيقة نجد أن الكفاءة الانتاجية في الطريقة الثانية قد ازداد بنسبة ١٥ - ٢٠٪ نتيجة لانخفاض كمية الحديد الضائعة كمقذوفات واختزال الخام عن آخره ، وانخفاض عدد الصببات التي تصل الى درجة التسخين المفرط فتبلغ حرارتها قبل صبها الى ١٦٥٠ درجة مئوية وبذلك تؤدي البطانة عدداً من الصببات أكبر .

من هذا تتضح المميزات العديدة الناتجة عن إضافة الخام على عدة دفعات .

وفي الفترة الأولى يضاف الخام وتغير كميته تبعاً لمقدار السليكون بالحديد الزهر وظروف التشغيل ويكون في حدود ٧٠٠ - ١٢٠٠ كجم ويزال الخبث بعد ٥ - ٦ دقائق من عملية النفخ ثم يقوم العامل بإضافة خليط الخام والجير والبوكسيت بوزن ٣٠٠ - ٦٠٠ كجم ويترك تقدير كمية الخام للملاحظ الذي يقوم بمراقبة العملية ويكون التقدير على أساس درجة الصبة بعد إزالة الخبث إذا قيس أو على درجة حرارة الصلب النهائية للصبة السابقة .

### استخدام الماء في التبريد :

نخفض درجة حرارة الشحنة إضافة الخام خاصة إذا أضيفت على عدة دفعات وفي بعض الأحيان يستخدم الماء لتبريد الشحنة وبذلك يقل تأثير الحرارة الشديدة على بطانة المحول ويستخدم الماء رذاذاً بواسطة



تيار الاكسجين الذى يوجه الى مطفة التفاعلات فيردها ٠ وفى احدى وحدات صناعة الصلب يدفع الماء الى المحول سعة ٢٥٥ طن بعد بدء النفخ بدقيقة وبمعدل ٢٥ - ٥٠ لتر كل دقيقة لمدة دقيقتين ويقوم الملاحظ بتحديد كمية الماء تبعا للظروف الموجودة ٠

وفى الفترة النانية يصبح معدل سريان الماء ٢٠ - ٤٠ لترا/دقيقة لمدة ست دقائق ويبدأ دفع الماء بعد ضبط الخبت وبعد خفض أنبوبة النفخ اى بعد دقيقة أو دقيقتين من بدء النفخ فى الفترة الثانية ٠

وقد تزداد مدة سريان مياه التبريد ولكن يجب ألا يتأخر إيقاف سريانها قبل نهاية النفخ بدقيقتين وعلى وجه العموم فإن كمية المياه اللازمة لتبريد الشحنة تنحصر بين ١٨٠ - ٣٠٠ لترا ٠

ومن حجرة المراقبة يقوم الملاحظ المختص بتنظيم معدل سريان المياه وغيرها من الأعمال الملحقة بها ٠ وبواسطة عمليات التبريد هذه تنخفض نسبة الشحنات ذات التسخين المفرط حيث تبلغ درجة حرارتها ١٦٧٠ درجة مئوية فأكثر فتبلغ النسبة من ٢٩ إلى ٧٨٪ كما يزداد أداء البطانة لعدد كبير من الصبات فيزداد عمرها ١٥ - ٢٠٪ ٠

ولكن استعمال المياه لأغراض التبريد لا يخلو من بعض العيوب :

١ - يساعد على فقد كمية هائلة من الحرارة لتصعيد الماء ، كان من الممكن الاستفادة منها لاختزال كمية من خام الحديد وصهر مقدار من الخردة ٠

٢ - شدة التناثر ( القذف ) خارج المحول نتيجة لتأثير الماء المؤكسدة على الشحنة ٠

٣ - لا يمكن استعمال الماء كعامل مبرد فى صناعة الصلب الكربونى اذ أن استعمالها يؤدى الى ارتفاع نسبة الهيدروجين فى الصلب مما يتسبب فى ظهور العيوب الطبقية به ٠

وفى حالة عدم اضافة الخردة فانه لتبريد الشحنة يجب اضافة الخام والنفايات المعدنية على عدة مرات تنظم بحيث تشمل الفترة الثانية كلها ويجب أن تنتهى الاضافات قبل نهاية النفخ بدقيقتين أو ثلاث ويمكن تبريد الشحنة لدرجة كافية باضافة قوالب الحجر الجيرى ٠

### قياس درجة حرارة المعدن :

من الأمور التى يجب مراعاتها قياس درجة حرارة المعدن بانتظام من وقت لآخر ويتم ذلك بغمس ازدواج حرارى فى المعدن فيعطى درجة الحرارة المباشرة وبهذا نعمل على تنظيم الحرارة طوال مدة النفخ ٠

وفى حالة ازاله الخبث الاول فانه يحسم قياس درجة الحرارة خلال هذه الفترة وبمعرفة درجة الحرارة المقاسة يتمكن الملاحظ من تقدير كمية الاضافات التى يجب اضافها لتبريد الشحنة فى الفترة الثانية .

وينوقف درجة حرارة المعدن على التركيب الكيميائى للحديد الزهر فاذا فيست بعد ازالة الخبث بعد ٨ - ١٠ دقائق من بدء النفخ فانها تتراوح بين ١٥٦٠ - ١٥٨٠ درجة م كما ان درجة حرارة الحديد الزهر عند سحبه فى المحول وكمية خام الحديد التى يضاف قبل النفخ لها تأثير فى درجة الحرارة المقاسة . ونصل درجة الحرارة ١٥٠٠ - ١٥٥٠ درجة مئوية اذا فبست بعد ازالة الخبث الاول بعد ٥ - ٦ دقائق من بدء النفخ .

وعادة تصل درجة حرارة الصلب عند صبه من المحول الى ١٦١٠ - ١٦٥٠ درجة مئوية ( كل القياسات قد أخذت بواسطة الازدواج الحرارى من التنجستن والمولينيوم ) ولصب الصلب عند درجة حرارة منتظمة اهمية كبيرة اذ يكفل لنا الحصول على كتل ذات جودة عالية ولهذا فانه من الاهمية بمكان قياس درجة الحرارة على فترات منتظمة .

ولاشك فى أن اليسر والسهولة فى قياس درجات الحرارة بسرعة ودقة كافية من الأمور التى يجب أن نهتم بها .

ويجرى تبريد جهاز قياس درجة الحرارة بالماء لحمايته من التلف ولقياس درجة الحرارة يدار درع الجهاز حتى يقلل فوهة المحول وبعد اخذ درجة الحرارة يزاح الدرع جانبا حتى لا يعوق العمل .

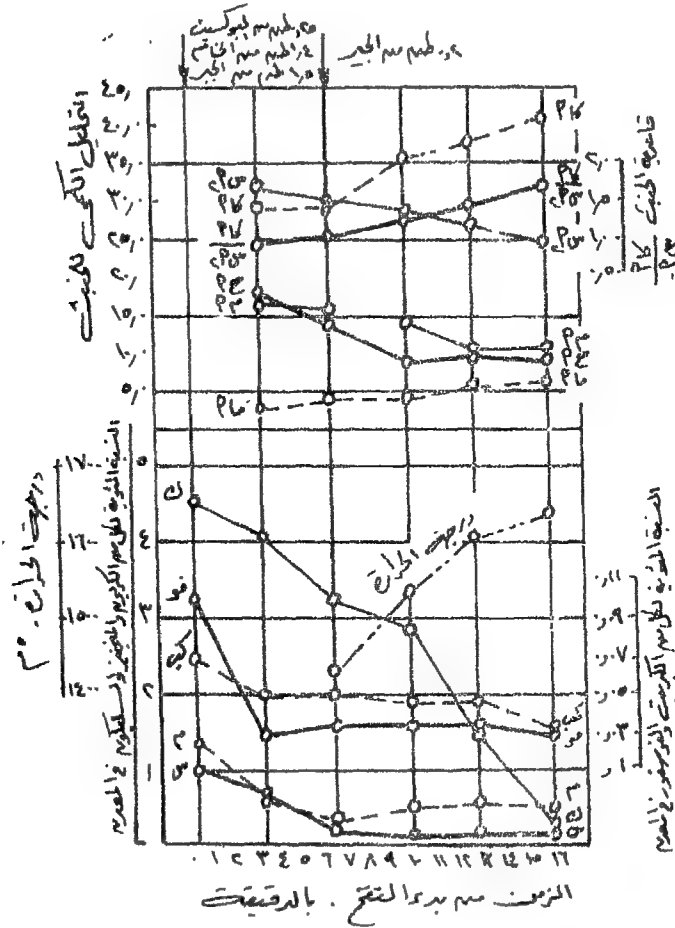
## ٨ - الطرق المختلفة للنفخ بالاكسجين من اعلا

### التشغيل دون ازالة الخبث الاصلى :

تتطلب ازالة الخبث الذى يتكون أولا عددا من العمليات الاضافية التى تستغرق من ١٥ - ٢٥ دقيقة وفى هذه الحالة يوقف دفع الاكسجين وترفع أنبوبة نسليط الاكسجين عن المحول ثم بامالة المحول ينسكب الخبث وبعد ذلك يعاد وضع المحول وتنخفض الأنبوبة ويستأنف النفخ ثانية . وبهذه الطريقة يفقد كثير من المعدن مع الخبث كما يفقد بعض منه نتيجة لامالة المحول .

وقد لا يزال الخبث فى صناعة الصلب ذى الكربون المنخفض اذا احتوى الحديد الزهر على فوسفور بنسبة ١٥٪ كحد اقصى حتى تنخفض نسبة الفوسفور بالصلب الناتج .

وفي شكل (٤٩) نرى التغيرات التي تطرأ على تركيب كل من المعدن والخبث طوال فترة النفخ لشحنة احتفظت بالخبث المتكون دون ازالة الخبث الاول ، حيث صبت شحنة وزن حوالى ٢٥٦ طنا ، وقد أضيفت اليها جميع المواد المنفصلة قبل بدء النفخ بست دقائق ، ٢٥ ثانية .



شكل (٤٩) : تغير التركيب الكيميائي في كل من المعدن والخبث أثناء النفخ دون ازالة الخبث الاصل

وتكفل لنا عدم ازالة الخبث الاولى درجة عالية من التخلص من العوسفور والكبريت وبنفس الطريقة التي يتكون بها الخبث الثانى يتكون الخبث فى هذه العملية .

ويعزى انخفاض قاعدية الخبث النهائي الى ارتفاع نسبة السليكون  
فى الحديد الزهر .

ولوفرة أكسيد الحديدور خلال ٦٥ دقائق الاولى من النفخ تأثير  
كبير فى ازالة الفوسفور ويساعد أكسيد المنجنيز على التخلص من  
الكبريت بدرجبا حنى نحصل فى النهاية على صلب ذى درجة عالية  
من المقاومة . وقد أثبتت سنوات طويلة من الخبرة صلاحية هذه الطريقة  
لصنع الصلب العوارذى النسبة المنخفضة من الكربون دون ازالة الخبث  
الاولى .

وفى أحد المصانع تحقق الآتى نتيجة لعدم ازالة الخبث الأولى :

- ١ - ارتفاع الكفاية الانتاجية للصلب الناتج .
- ١ - ارتفاع الكفاية الانتاجية للصلب الناتج لانخفاض نسبة الضائغ  
من المعدن أثناء ازالة الخبث بحوالى ٠.٥٪ .
- ٢ - قصر مدة النفخ بحوالى ١ - ٢ مما يزيد من السعة الانتاجية  
للمحول .
- ٣ - زيادة طفيفه فى نسبة الفوسفور بالصلب الناتج ولكنها على  
وجه العموم أقل من ٠.٤٪ .
- ٤ - احتفاظ المحول بأعمار بطانته المقدرة .

### التشغيل باستعمال قوالب الخام والحجر الجيرى :

نحل قوالب الخام والحجر الجيرى فى الاستعمال محل الخام والجير  
للاسرار فى تكوين الخبث وتنظيم درجة الحرارة اذ أن اختزال أكاسيد  
الحديد وتحلل الحجر الجيرى تستنفذ كمية هائلة من الحرارة .

وتضاف هذه القوالب الى المحول اما قبل شحن الحديد الزهر به واما  
أثناء عملية النفخ واستنادا الى كمية أكسيد الكالسيوم بهذه القوالب فانه  
يتحدد الموقف فاذا لم تكن هذه الكمية كافية كان لزاما علينا اضافة كمية  
أخرى من الجير حتى نعوض النقص فى المواد الصهارة .

ويعطينا جدول (٣٠) النتائج التى تحصل عليها من جراء العمل  
باستعمال قوالب الخام والحجر الجيرى وباستعمال الخام والجير .

### التحليل الكيميائي للقوالب كما يأتي :

٣ ر ٣	سأ ٢
٣٥ر٤٥	كا ١
٣٢ر٤٤	ح ٢ أ ٣
٧٢ ر	مغأ
٩٥ ر	او ٢ أ ٣
١٩ ر	م أ
٦ ر	ح أ
٠٣ ر	غو

[illegible]

وكقاعدة يمكن أن يقال أن جميع الصببات التي أضيفت إليها قوالب  
الخام والحجر الجيري تكون ذات حرارة منخفضة اذ تشكل الصببات ذات  
الحرارة العالية نسبة ٤٪ منها في حين تبلغ النسبة ١٠٪ باستعمال  
الخام والجير ٠٠ ولعل أهم السمات التي تختص بها الصببات المضاف إليها  
هذه القوالب هو سرعة تكوين الخبت السائل ذي القاعدية الكافية .

ويوضح جدول (٣١) التركيب الكيميائي للخبث مأخوذة لصيبتين  
بمد ٣ ، ٥ دقائق من بدء النفخ .

جسول (۳۱)

التركيب الكيميائي للخبث /٠										
فوم أ هـ	لوم أم	أ م	خ ٢ أم	ح ا	مغ ا	كا ٣ س ا	كا ا	س ٢	زمن أخذ العينة بعد بدء النفخ ( دقيقة )	عدد العينات
٠٢٣	—	٢٠٥٢	١٨	٣٧٨	٣٨٧	١	٢٢٥٢	٢٢٧٦	٢	١
٠٨٦	—	١٩٦٤	٢٤	٨٩٧	٤٤٣	١٠٧	٣٢٨١	٣٠٤٦	٥	
٠٧٣	٢١٨٠	٢١١٩	١١	٧٠٠	٢١٢	١	٢٢٥٧	٢١٧٨	٢	٢
٠٧١	٢٦٦٧	١٨٥٦	٢٨٧	٦٤٨	٢٢٨	١١٥	٢٥٠٤	٣٠٢٣	٥	



وإذا أخذنا متوسط التحاليل لعدد من الصبات التي نسنعمل فيها هذه القوالب نجد أنها لا تختلف عن تلك التي يستعمل فيها الخام والجير ونفس الشيء يقال بالنسبة لكل من الكبريت والفوسفور إذا احتوت هذه التوالب على ٣٥٪ فأكثر من أكسيد الكالسيوم فإنه لا يكون هناك حاجة لاضافة الجير حتى تصح قاعدية الخبث مناسبة .

كما سبق نجد لهذه القوالب دورا هاما في تنظيم درجة حرارة الشحنة ولقد وجد أنه بزيادة الاضافات ٢٠٠ - ٣٠٠ كجم من القوالب التي تحتوى على ٣٥٪ كا أ ( حجر جيرى ) ، ٤٤٪ ح ٢ ، ٩٪ ح أ تنخفض درجة الحرارة قبل الاختزال من ٢٠ - ٢٥ درجة م ( متوسط استهلاك القوالب ٢٣٠٠ كجم لكل شحنة وزنها ٢٢ طنا ) .

وإذا اكتفينا بأضافة القوالب فقط دون اضافة الجير فان عدد الصبات ذات الحرارة الشديدة ( فوق ١٦٥٠ درجة م ) لا يزيد عن ٥٪ فقط من العدد الكلى بينما لا تقل هذه النسبة عن ٣٠٪ فى حالة عدم استخدام هذه القوالب ولنفس الحديد الزهر .

ويمثل شكل (٥٠) العلاقة بين كمية كل من الكبريت والفوسفور المتبقى فى الصلب وقاعدية الخبث فى حالة استبدال الخام والجير بالقوالب . وبهذا الاستبدال نحصل على المميزات الآتية :

١ - سرعة تكون الخبث .

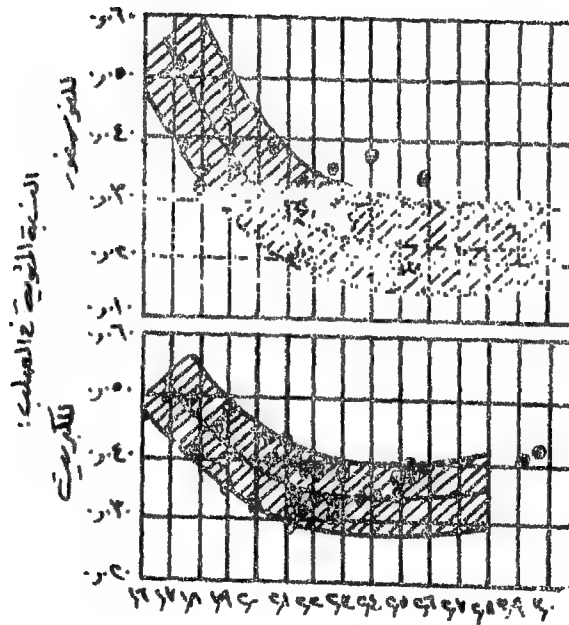
٢ - تحقيق قاعدية الخبث المطلوبة مع قلة كمية الاضافات المكونة له الامر الذى يؤدى الى صغر حجم الخبث .

٣ - ارتفاع سيولة الخبث دون اضافة البوكسيت أو اضافة جزء ضئيل منه .

٤ - زيادة الكفاية الإنتاجية للصلب بسبب قلة الفاقد فى الخبث السائل .

٥ - تبريد الشحنة باستغلال جزء من الحرارة فى تحليل الحجر الجيرى .

٦ - انعدام وجود الجير الناعم .



شكل (٥٠)

#### اعادة استخدام الخبث المتخلف عن الصبة السابقة :

من المفيد علميا ان تبقى بالمحول بعض الخبث الناتج عن الصبة السابقة ويستغل هذا الخبث للاسراع فى تكوين الخبث والاقتصاد فى استهلاك الجير .

وفى هذه الحالة يضاف الى المحول ثلاثة ارباع (٧٥٪) الكمية المعتادة من الجير وخام الحديد بعد شحن الحديد الزهر به ثم يبدأ النفخ بالطريقة المألوفة .

ولقد أثبتت هذه الطريقة نجاحا مؤكدا فيتكون الخبث سريعا وبالقاعدية المناسبة ٠٠ وفيما يلى نظام تقريبي لتكوين الخبث عندما تبقى بالمحول ٢ طنا من الخبث السابق ، تركيبيه الكيميائى كالاتى :

١٨٩١	س آ ٢
٤٤٦٥	كا ١
٢٣٦	كا أ : س آ ٢
١٠١٠	ح ١
١٠٢٨	م ١
١٩٤	ح ٢

ويشحن الى المحول الحديد الزهر الذى يزن ٢٥٥ طنا وتركيبه  
الكيميائى هو :

٣ ر ٤	ك
٦٨ ر	س
٥٢ ر ١	م
٠٦٣ ر	كب
٠٩٨ ر	فو
٠٠٥٦ ر	ن

ثم يضاف بعد ذلك ١٠٠٠ كجم من خام الحديد ، ٩٠٠ كجم من الجير  
( بدلا من ١٢٢٥ كجم ) ، ١٠٠ كجم من البوكسيت وينتظر مدة ٥ دقائق  
بعد بدء النفخ ثم يزال الخبث وعندئذ يضاف ثانية ٤٠٠ كجم من الخام ،  
٥٠٠ كجم من الجير .

جدول (٣٢)

النسبة المئوية لمحتويات ( مركبات ) الجيوت							
الزمن اعتباراً من بدء النفخ دقيقة/ ثانية	١ ك	س٢١	ح أ	ج ٢ ح	م أ	لور ٢ م	مغ أ
٥ -	٣٦٦٨	٢٧٢٣	١٠٢	١٦٣	١٠٨	٤٤٢	٥٣٢
١٠ -	٤٢٧٣	١٩٢	٩٨٥	٢١	١٠٢	٥٠٥	٦٨٤
١٤ ٤٥ خبت نهائي	٤٨٣١	١٧٢	٧٢٣	١٤٣	٩١٢	٥٣٨	٨٠٥

ويوضح جدول ٣٢ التغيرات التي تطرأ على تركيب الخبث أثناء النفخ وقد كانت درجة ازالة الكبريت ٤٠٪ ، ودرجة ازالة الفوسفور حوالي ٨٠٪ ( فى صناعة الصلب الفوارذى الكربون المنخفض ) .

يشحن الحديد الزهر الى المحول الذى به جزء من الخبث المتخلف عن الصبة السابقة مع تناثر بعض الخبث والحديد الزهر خارج المحول .

وكقاعدة فانه من الممكن ملاحظة هذه الظاهرة بعد الصببات التى تحتوى على نسبة صغيرة من الكربون لغاية ٠.٧٪ ( فترة ما بعد النفخ ) ويحتوى مثل هذا الخبث على كميات وفيرة من أكاسيد الحديد التى تتفاعل بسببه مع الكربون الموجود بالحديد الزهر .

ومما هو جدير بالذكر أنه باستخدام الخبث المتخلف عن الصببات السابقة يجب ازالة الخبث المتكون أولا وأكبر من ذلك فان ضخامة حجم الخبث فى المحول سوف تؤدى الى زيادة قذف الحديد خلال الفترة الثانية .

### ظروف النفخ

تؤخذ العوامل الآتية فى الاعتبار عند تحديد ظروف التشغيل «النفخ» حجم المحول النوعى ، وقابلية البطانة للاستمرار فى التشغيل ، وفترة تكون الخبث ، ومقاومة الطرف النحاسى لأنبوبة الأكسجين ، وكمية القذف وترتبط مدة النفخ بمعدل دفع الأكسجين فتقل بزيادة كمية الأكسجين المندفعة بالمحول فمثلا اذا كان دفع الأكسجين تحت ضغط يعادل ١٠ ضغطا جويا ( مقاسا بقياس الضغط ) وزاد معدل سريانه من ٦٠ الى ٦٥ - ٧٠م<sup>٣</sup>/دقيقة لشحنة من الحديد الزهر وزن ٢٠ طنا فى محول حجمه ١٦م<sup>٣</sup> مكعب تنخفض مدة النفخ دقيقة ، ٨ ثوان .

ويعادل هذا الانخفاض فى الوقت ١٠٪ من الوقت الكلى . وفى المتوسط فان مدة النفخ لشحنة الحديد الزهر التى وزن ٢٥٥ طنا فى محول حجمه ٢٠م<sup>٣</sup> تبلغ ٣ ثوان ١٦ دقيقة و ٢٠ ثانية اذا كان معدل سريان الأكسجين ٧٠ - ٨٠م<sup>٣</sup>/دقيقة .

ويجب ألا يغيب عن الحسبان أن لهذا المعدل حدا أقصى فكلما زاد معدل دفع الأكسجين زاد قذف المعدن خارج المحول مما يترتب عليه نقص فى الكفاءة الانتاجية له ويتيح لنا الكبر النوعى لحجم المحول فرص دفع الأكسجين بمعدل أكبر .

ولقد وجدنا عمليا أن ضبط وضع أنبوبة دفع الأكسجين فوق سطح المعدن يكفل لنا المعدل المطلوب وتكوين الخبث وأيضا المحافظة على الأنبوبة .

وفي العادة ينبت ارتفاع الأنبوبة بحوالى ٧٠٠ - ٨٠٠ مم عن سطح المعدن في محول سعته من ٢٠ - ٤٠ طنا وعند ضبط الخبث فى نهاية الفترة الأولى وبعد اضافة الجير ترفع الأنبوبة الى ١٠٠٠ - ١١٠٠ مم فوق سطح المعدن وتظل عند هذا الارتفاع لمدة دقيقتين .

ومن البديهي أنه بتتابع عملية النفخ تتآكل بطانة المحول باستمرار مما يؤدي الى زيادة حجم المحول ونتمكن من زيادة الشحنة ( الحديد الزهر بالمحول ) وفى هذه الحالة لا يتغير ارتفاع أنبوبة الأكسجين عن سطح المعدن .

وقد تتدخل بعض الاعتبارات الخاصة فلا نتمكن من زيادة وزن شحنة الحديد الزهر بالمحول بالرغم من نآكل بطانة المحول بصفة مستمرة وفى هذه الحالة يجب خفض ارتفاع الأنبوبة حتى نحافظ على المساحة بينها وبين سطح المعدن ثابتة دائما .

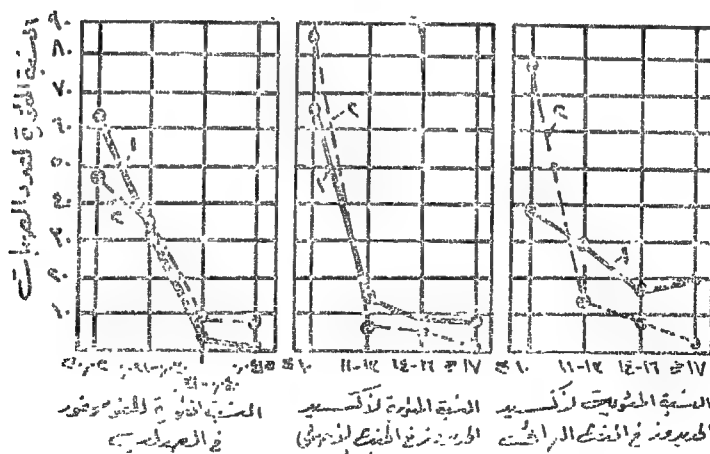
ويتأثر بدرجة ملحوظة عملية النفخ بحجم وشكل الفوهات التى يندفع خلالها غاز الأكسجين الى المحول وبهذا يجب مراعاة أن يطابق ضغط الأكسجين عند خروجه من فوهات الضغط المطلوب مع تحقيق نفس المعدل .

وإذا أنخفض معدل الأكسجين فانه ينبوت قطر الفوهات ينقص ضغط تيار الأكسجين وتقل تفاعلات الأكسدة عند سطح المعدن وبذلك تطول مدة النفخ عندما يسلط الأكسجين بواسطة الفونية ذات الاختناق . ويحتوى الخبث على وفرة من أكاسيد الحديد مما يساعد على سرعة ذوبان الجير ويكون الخبث بالقاعدية المطلوبة مبكرا وبذلك يزال الفوسفور بنجاح .

ولهذا أهميته الكبرى فى صناعة الصلب الكربونى وفى شكل (٥١) نرى بيانيا التغيير الذى يطرأ على كمية الفوسفور بالصلب وكمية أكاسيد الحديد فى الخبث الأولى والنهائى عند نفخ الحديد الزهر ذى تركيب ( نمطى ) وقد استعملت فيه طريقة النفخ بنوع خاص من الفونيات بالطريقة الاسطوانية مع تثبيت كل من : - معدل الأكسجين ، وضغطه ، وارتفاع الأنبوبة عن سطح المعدن .

وتشير البيانات الى أن الخبث يكون أكثر تأكسدا باستعمال هذا

النوع الخاص من الفونيات هذا الى أنه باندفاع الأكسجين خلال الاخذناق الموجود بالأنبوبة يؤثر على مساحة كبيرة من سطح المعدن فيتكون كثر من أكسيد الحديدوز ولهذا فان درجة ازالة الفوسفور تكون عالية .



شكل (٥١) : تذبذب ( تغير ) نسبة الفوسفور في الصلب ، وأكسيد الحديدوز في الغبث الاصل والغبث النهائي

وتتوقع مقدما أن زيادة سمك طبقة الغبث تفقد تيار الأكسجين جزءا كبيرا من الطاقة المركبة فتقل سرعته ولا ينفذ الا لعمق صغير وعلمه تنكمش منطقة التفاعلات ويهبط معدل تأكسد الكربون . فتزداد اكاسيد الحديد بالخبث ويتكون الغبث الفعال سريعا .

ومن الناحية الاخرى سرعان ما يمتص هذا الغبث الأكسجين الذي يستغله في أكسدة الحديد المحجوز به مما يضاعف من أكسدة الغبث . . ومن هنا يتضح أن لزيادة سمك طبقة الغبث نفس التأثير لزيادة المسافة بين الأنبوبة وسطح المعدن .

### نفخ الحديد الزهر الفسفوري بالأكسجين من أعلا

انتشرت صناعة الصلب بنفخ الحديد الزهر بالأكسجين الخالص من أعلا انتشارا واسعا ويجرى النفخ في محولات ذات بطانة قاعدية ويحتوى الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور الى صلب

باستخدام هذه الطريقة ، وبانخاذ بعض الاجراءات الخاصة فى النفخ أثبتت هذه التجارب نتائج ايجابية طيبة .

بضبط وضع الأنبوبة فوق سطح المعدن ، ومعدل اندفاع الأكسجين وضغطه بحيث ينخفض معدل تأكسد الكربون فتزداد تبعا لذلك كمية اكاسيد الحديد بالخبث ويذوب الجير فيه سريعا .

وإذا اندفع تيار الأكسجين بسرعة معتدلة يوجه معظمه الى الخبث وفى هذه الحالة تتأخر أكسدة الكربون وتصبح الظروف ملائمة لازالة الفوسفور جيدا .

ومما تجدر ملاحظته فى العماية السابقة أن تيار الأكسجين لا يكون له أى اتصال مباشر مع المعدن ولذلك تزال الشوائب مع الخبث اذ يؤثر تيار الأكسجين على الخبث الذى بدوره يؤثر على المعدن .

ولتحقيق ما سبق يجب أن يكون تيار الأكسجين عريضا باختيار الضغط مباشرة عليها . . لذا فإن كمية النتروجين المحتصة فى الصلب لا تتوقف أساسا على درجة نقاوة الأكسجين ويزال الفوسفور بنفس المعدل الذى يتأكسد به الكربون .

يدفع الأكسجين تحت ضغط منخفض ورفع الأنبوبة بعيدا عن سطح المعدن فيتأكسد الفوسفور بمعدل ٠.٢٪ فى الدقيقة بينما يكون هذا المعدل ٠.٧٪ فى الدقيقة اذا كان ضغط الأكسجين عاليا والانبوبة على ارتفاع صغير من سطح المعدن .

وتعتبر كمية أكاسيد الحديد فى الخبث ومعدل أكسدة الكربون من العوامل الحيوية ( الأساسية ) لازالة الفوسفور اذا كان هذا أمرا مرغوبا .

ومن الأهمية بمكان ألا يتعدى معدن أكسدة الكربون عن ١.٢٥٪ فى الدقيقة وقد يزداد هذا بعد ازالة الفوسفور اذا كان هذا أمرا مرغوبا .

ومن الأمور البالغة الأهمية أن نأخذ فى الاعتبار الكبر النسبى فى حجم المحول النوعى حيث يشتد قذف المعدن خارجه نتيجة لازدياد عمليات التأكسد .

ويمكن أن يقل القذف اذا لم يزد عمق السطح الخالص للمعدن عن ٤٠٠ مم ومع هذا فان الكفاية الانتاجية للصلب الناتج بهذه الطريقة تكون أقل من تلك لمحولات توماس المعنادة فكلما زادت نسبة أكسيد الحديدوز فى الخبث بمقدار ٤٪ قلت الكفاية الانتاجية بما يساوى ١٪ وتستمر بطانة المحول لنفخ ٨٠ - ١٠٠ شحنة ويلاحظ أن مدة النفخ تكون أطول ٤ مرات عن مدة النفخ السفلى بالهواء .



وقد أمكن التغلب على الصعوبة الرئيسية التي تصادفنا عند نفخ الحديد الزهر ذى الفوسفور المرتفع فأجريت التجارب لنفخ هذا الحديد باستخدام ثلاث أنابيب لدفع الأكسجين بدلا من واحدة ووضعت هذه الأنابيب متماثلة على محيط فوهة المحول وبهذا يصبح الأكسيد أكثر انتظاما . ومن الممكن استغلال احدى هذه الأنابيب لأكسدة الكربون بينما تستغل الأخرى لآزالة الفوسفور ويجرى نظام التشغيل كما يلى : -

تخضع الأنابيب أولا الى مسافة ٣٠٠ - ٥٠٠ مم عن سطح المعدن ثم يبدأ النفخ لمدة ١٠ دقائق ( لشحنة تزن من ٧ - ١٠ طن ) يضاف أثناءها كميات صغيرة من الجير الى الشحنة وبعد ذلك ترفع الأنابيب الى ارتفاع ٦٠٠ - ١٠٠٠ مم وتبدأ ازالة الفوسفور وفى خلال تمان دقائق تنخفض نسبة الفوسفور الى ٠.١٪ بينما كان يصل فى البداية حوالى ١.٧ - ٢.٠٪ وتصبح نسبة الكربون ٠.٥٪ عندئذ يزال الخبث المتكون ويضبط الخبث الجديد ثم تنخفض أنبوبيتان فقط لاتمام أكسدة الكربون بينما تظل الثالثة كما هى : -

وتستغرق كل هذه العمليات حوالى ٢٥ دقيقة بحيث يتم فى النهاية أكسدة الفوسفور تماما فى نفس الوقت مع الكربون .

وقد طبقت الطريقة السالفة الذكر فى عدة تجارب أجريت على شحنات من الحديد الزهر الفوسفورى بين ٤ - ٤.٥ طنا وكان الصلب الناتج محتويا على نسبة من الفوسفور أقل من ٠.٣٪ وغالبا كانت هذه النسبة أقل من ٠.٢٪ وكانت نسبة النتروجين ٠.٠٢ - ٠.٠٦ ر/و ويجب مراعاة ألا يقل حجم المحول النوعى عن ٣م/طن من الشحنة ويفضل أن يكون هذا الرقم بين ١.٢ - ١.٥ م مكعب طن حتى ننفادى شدة القذف اذا كان الخبث غنيا بأكسيد الحديدوز .

وبالرغم من المزايا التى تتمتع بها هذه الطريقة فانها لا تخلو من بعض العيوب منها التباطؤ فى أكسدة الكربون طول فترة النفخ وقصر عمر البطانة .

وقد لا يحتاج الى ازالة الخبث عند صناعة الصلب من الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة من الفوسفور لغاية ٠.٥٪ وبمقارنة نفخ الحديد الزهر ذا الفوسفور المنخفض والحديد التوماسى بالأكسجين من أعلا فى نفس المحول نجد أن مدة نفخ الأخير تزداد بمقدار ١٢ دقيقة بينما ينخفض الانتاج اليومى من ١٣٢٠ طنا الى ٩٦٠ طنا ويرتفع استهلاك كل من الخام والجير وفى نفس الوقت ينخفض معدل عمر البطانة من ٢٥٠ - الى ١٦٠ صبه وعندئذ يصبح الصلب الناتج باهظ التكاليف .

ولقد أكدت التجارب التي أجريت في الاتحاد السوفيتي أنه بالإمكان انتاج الصلب المطاوع الفوار الذي يحتوى على فوسفور لا تتجاوز نسبته ٠.٥ ٪ ، فينخفض النتروجين من الحديد الزهر ( تحليله الكيميائي هو ) .

ك	٣ر٢ - ٨ ر
م	٠.٦٥ - ٠.٦٧
س	١ر - ٢ ر
فو	١ر٤ - ٧ ر
كب	١ ر - ١٤ ر

وباستعمال الصودا يزال حوالى ٥٠ - ٥٠ ٪ من كمية الكبريت الموجودة بالحديد الزهر ويضاف فيه الجير حوالى ٦ - ٧ ٪ الى المحول قبل شحنه بالحديد الزهر ثم بعد ذلك ٥ - ٧ دقائق يضاف ٦٥ ٪ من الجير ثانية بعد ازالة الخبث .

ويستعمل فى أغراض التبريد كل من الخردة وخام الحديد ، ويصل معدل استهلاك الأكسجين ٦٢ - ٨٠ م لكل طن من الحديد الزهر ، وبهذا المعدل تستغرق الشحنة التي تزن ٧ - ٨ طنا حوالى ١١ - ١٥ دقيقة ويبلغ استهلاك الجير ١٢ - ١٤ ٪ وقد أزيل الفوسفور فى نفس الوقت مع الكبريت ، وتم ذلك بضبط ارتفاع الأنبوبة ومعدل اندفاع الأكسجين .

فمثلا كانت نسبة الفوسفور ٠.٤٢ ٪ عند الدقيقة ١١ عندما كانت نسبة الكربون ٨٤ ٪ ودرجة حرارة المعدن ١٥٤٠ درجة مئوية وكانت قاعدية الخبث حوالى ٢ وحتوى على ١٨.٣ ٪ منه أكاسيد حديد، ٠.٨٢٧ ٪ خامس أكسيد الفوسفور .

كان القذف فى هذه التجارب على أشده مما أدى الى قلة الكفاية الانتاجية للصلب الناتج وقد أجمعت كل التجارب على أنه من الممكن من ناحية المبدأ تحويل الحديد الزهر الفوسفورى الى صلب وذلك بنسخه بالأكسجين الخالص ومن أعلا .

ولكن عيب الطرق المتبعة فى هذا الصدد أنها لا تعطى نتائج طيبة بالقدر الكافى بين النواحي الفنية والاقتصادية .

ومؤخرا وبعد سلسلة من التجارب قامت بها جمعية الفلزات بفرنسا ، دخلت الى ميدان الصناعة الطريقة الجديدة لتحويل الحديد

الزهر الفوسفورى الى صلب وينم ذلك بنفخه بالأكسجين النقى من أعلا المحول مع اضافة مسحوق الجير .

ينشر مسحوق الجير على سطح المعدن ثم يأتى تيار الأكسجين فيدفعه الى الداخل دفعا ، وبمعرفة التركيب الكيميائى للحديد الزهر نتحدد كمية الجير ، وتبعا للطريقة المستخدمة ، يتبين معدل اضافته ويقوم بتنظيم ذلك مغذيات خاصة ويستحسن أن يكون مسحوقا ناعما حتى تزداد فاعليته .

والطرق المنبئة لنفخ الحديد الزهر فى محول يسع ٣٠ طنا هى كما يأتى :

تشحن كمية الخردة أو خام الحديد اللازمة الى المحول الذى يحتوى على بعض الخبث المتخلف عن عملية سابقة ثم لشحن الحديد الزهر الذى يحتوى على ١٦ - ٢١٪ فو ، ١٠ - ١٧٪ س ، ٨٪ م ، بعد ذلك يضاف الجير ويبدأ النفخ بالأكسجين بحيث نكون الأنبوبة على ارتفاع ١ - ١٥ م عن سطح المعدن وأثناء النفخ تخفض الأنبوبة تدريجيا حتى ارتفاع ٥ م . مترا وفى وقت واحد يزال الخبث ويضاف الى المحول ١١٠ كجم من الجير لكل طن من الشحنة مع نفخ ٣٥٠ م من الأكسجين لكل طن منها وعندما يصل الكربون الى ٦٪ والفوسفور الى أكثر من ١٪ يكشط « يزال » الخبث ويحتوى مثل هذا الخبث على ٥٥ - ٥٧٪ كا ، ٢٠ - ٢٥٪ فو ، ٥ - ٨٪ ح .

بعد أن يستبعد الخبث نهائيا ( يزال تماما ) يضاف خام الحديد أو الخردة ثم يسنانف النفخ بالأكسجين من جديد مع اضافة الجير حتى نصل الى نسبة الكربون المنشودة مع مراعاة أن تكون أنبوبة الأكسجين على ارتفاع ٥ م فوق سطح المعدن .

خلال الفترة الثانية يكون النفخ بمعدل ٣١٥ لكل طن من الصلب كما نكون اضافة الجير بواقع ٣٠ كجم/ط .

ويحتوى الخبث النهائى على ١٠٪ فو ، ٢٠٪ ح مع أن نسبة الفاسد من الحديد المتكون صغيرة . والصلب الطرى لا تتعدى نسبة الفوسفور به ٠٢٪ وبهذه الطريقة يمكن انتاج أنواع من الصلب تصارع فى خواصها وجودتها الأنواع التى تصنع بطريقة الأفران المفتوحة .

ومن المفيد أن نعلم أنه بهذه الطريقة يمكن نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور .

## ٩ - صناعة أنواع الصلب المختلفة

### وجودة الصلب

تستخدم طريقة النفخ العلوي بالأكسجين عمليا لصنع الصلب الكربونى بنوعيه من الفوار والمخمد ، كما نستخدم أيضا فى صنع عدد من السبائك الفولاذية ٠٠ ولقد أسهمت هذه الطريقة اسهاما كبيرا فى انتاج معظم انواع الصلب فنجد ان غالبية أنواع الفولاذ المسكلة قد تم صنعها بهذه الطريقة فعلا .

فمن هذا الصلب تصنع الصفائح الرقيقة والألواح التى تم درفليها على البارد لصنع هياكل العربات والألوان المدرفلة على البارد وعلى الساخن اللازمة لأغراض التشكيل بالبتق . ( العوارض ، الكهرات على شكل المجرى - الكوع - الالكترودات - أسلاك البرق « التلغراف » - حديد التسليح والقضبان ٠٠ الخ ) .

ومن الطبيعى أن صناعة كل نوع من أنواع الصلب المختلفة لها قواعدها الخاصة بها .

### صناعة صلب القضبان :

لصناعة الصلب المستخدم فى عمل قضبان الأوناش ينبغى أن تنوافر فيه التحاليل الآتية : -

ك	٥ ر - ٠٧٣ ر
م	٦ ر - ١
س	١٥ ر - ٣ ر
كب	أقل من ٠٥ ر
فو	أقل من ٠٥٥ ر

ومن التجارب العملية وجد أنه يمكن الحصول على صلب القضبان بالتحاليل السابقة بتوفير الظروف الآتية : -

١ - استعمال الحديد الزهر الذى يحتوى على عنصر السليكون حتى ٠٧٪ والمنجنيز أكثر من ١٥٪ ولا تزيد نسبة الكبريت به عن ٠٠٦ / ر .

٢ - يجب أن تكون كمية أكاسيد الحديد بالخبث مناسبة حتى يتكون جيدا وتزداد درجة ازالة الفوسفور والكبريت ( ولتحقيق هذا

الغرض ، يضبط الخبث مرتين خلال النفخ حيث ترفع أنبوبة دفع الأكسجين ) •

٣ - ارتفاع درجة حرارة الشحنة لدرجة كافية وبحيث لا تصلب بالصلب الى درجة التسخين المفرط تلافيا لارتداد الفوسفور اليه ثانية •

ويجب أن نعلم أن ازالة الفوسفور من صلب القضبان ليست بالأمر الصعب فنادرا ما تزيد نسبته عن ٠.٥٪ في صببات هذا النوع من الصلب وتتميز هذه الصببات اما بسخونها الشديدة ( درجة حرارتها قد تصل الى ١٧١٥ درجة مئوية ) مصحوبة باختزال حاد في المنجنيز الى ٠.٧ - ١.٤٪ واما بانخفاض في كمية أكاسيد الحديد في الخبث ( ٤٧ - ٦٣٪ ) وفي هذه الحالة يتحتم ازالة الخبث الأولى •

ويتوقف النفخ عندما تصل نسبة الكربون الى ٠.٥٧ - ٠.٦٣٪ ثم يستأنف فترة ما بعد النفخ حيث يكون استهلاك الأكسجين بمعدل ٢٠ - ٢٥ م لكل ٠.١٪ كربونا •

لتنظيم درجة حرارة الصلب حتى لا يصل الى درجة التسخين المفرط يضاف اليه كمية من الخام أثناء النفخ ويجب أن تكون درجة حرارته قبل نزع الأكسجين منه بين ١٦١٠ - ١٦٥٠ م •

تضاف الاضافات النازعة للأكسجين الى الصلب في البودقة وأهمها الألومنيوم الذي يضاف بمعدل ١٥٠ جم لكل طن من الصلب ويجب أن لا تزيد كمية الألومنيوم المضافة عن هذا الحد حتى نحافظ على سيولة الصلب • ويوضح الجدول الآتي مقارنة بين نسبة تشبع صلب القضبان المصنوع بطرق مختلفة بالغازات ، تبعا لاختلاف الطرق •

حجم غاز الهيدروجين في ١٠٠ حجم ( سم <sup>٣</sup> )	النسبة المئوية للغازات		طريقة صنع الصلب
	٢١	٢ ن	
٣٣	٠٠٢٨ ر	٠٠٣ ر - ٠٠٨ ر ( في المتوسط ٠٠٦ ر )	النفخ العلوي بالأكسجين
٣٨	٠٠٢١ ر	٠٠٧ ر	الفرن المفتوح
٤٩	٠٠٦٦ ر	٠١٨ ر	صلب بسمر

وتتراوح قوة الشد النهائية لصلب القضبان المصنوع في المحولات بين ٧٤ر٢ - ٩٧ر٤ كجم / مم ٢ ويمكن أخذ الرقم ٨٣ر٩ كجم / مم ٢ كمتوسط لها . ويمكن وضع البيانات الخاصة بقوة الشد النهائية في جدول كالآتي : -

جدول ( ٣٤ )

النسبة المئوية في عدد الصبات	قوة الشد النهائية كجم / مم ٢
١٩ر٣	٨٠
٤٠	٨٥ - ٨٠ر١
٣٢ر٢	٩٠ - ٨٥ر١
٧ر٩	٩٥ - ٩٠ر١
٠ر٦	٩٥ر١

وتبلغ متوسط الشد النهائية لصلب القضبان المصنوع في محولات بسمر والذي له نفس التركيب الكيميائي حوالى ٨٨ر٨ كجم / مم ٢ ويصل متوسط نقطة الخضوع لصلب القضبان المصنوع في المحولات الى ٤٧ كجم / مم ٢ .

من هذا نرى أن خواص المتانة لصلب القضبان المصنوع في حالة الصلب المصنوع بطريقة النفخ السفلية بالهواء وذلك لاحتوائه على نتروجين أقل . وتقل مطيلية صلب المحولات بعض الشيء عن تلك لصلب بسمر ولكنهما يشتركان في نفس الاستطالة التي تبلغ لكليهما حوالى ١١ / ، وبمقارنة الاختزال في مساحة مقطع كل منهما نجد أنها تساوى ١٨ر٤٪ لصلب المحولات ، ١٦ر٧٪ لصلب بسمر . أما قوة تحمل الصدمات لصلب المحولات فتتفوق نظيرتهما لصلب بسمر . وبالأرقام يمكن مقارنتهما في جدول ( ٣٥ ) .

جدول ( ٣٥ )

درجة الحرارة ٥٠						فترة تحمل الصدادات
٦٠ -	٤٠ -	٢٠ -	صفر	٢٠ ÷		
١٠٨	١١٥	١٤١	١٨٢	٢٢٣	متوسط	
١٦٢ - ٨٧	١٢٥ - ١١	١٦٤ - ١١٧	٢٢٥ - ١٤٣	٢٧ - ١٩٦	المطود التي تقع بينها	



ويصل متوسط الكفاية الاناجية للقطاعات الخفيفة - قضبان ( وزن المتر الطولى ٥٢ر٧ كجم ) ٩٢ر٣ %

وترجع العيوب الظاهرية الموجودة فى صلب القضبان المصنوع فى المحولات الى :باب متعددة وليست هذه العيوب من خواص هذا الصلب .  
ويتأثر البنبان الماكروسكوبى لصلب القضبان الى حد بعيد بدرجة الحرارة ومعدل الصب ( معدلات الصب والتبريد ) وسيولة الصلب وأيضا على ارتفاع الصلب فى القوالب .

ولقد أعطت النجارب النى أجريت لصنع صلب القضبان بتطبيق طريقة النفخ العلوية بالأكسجين نتائج مرضية وكانت خواصه الميكانيكية حسنة .

وعليه فان المقاومة النهائية للصلب تتراوح بين ٨٤ - ٩٥ر٥ كجم/مم<sup>٢</sup> اذا كان تركيبه الكيميائى كالاتى : -

٠.٦٥ - ٠.٧٦ % ك ، ٠.٦ - ٠.٧٨ % م  
٠.١٨ - ٠.٢٧ % س ، ٠.٢٣ - ٠.٤٥ % كب  
٠.١٤ - ٠.٤١ % فو

وتتراوح الاستطالة النسبية له بين ٦ - ٩% واختبار الصلادة البرينيلية ٢٢٩ - ٢٨٥ ، انحرافات الانحراف بالتصادم ( بالرفع ) ٤٧ - ٥٥ سم ( الصادم الأولى ) .

#### ١٠ - صناعة الصلب الذى يحتوى على نسبة عالية من الكربون بكربنة الحديد الزهر المنصهر

تعتبر الطريقة المثلى لصناعة مثل هذا الصلب هى إيقاف النفخ عند نسبة الكربون المنشودة ثم زيادتها مباشرة باضافة الانثراسيت الحرارى أو فحم الكوك الى البودقة فى حالة زيادة النفخ قليلا . و تمتاز هذه الطريقة بقصر زمن النفخ فيطول عمر البطانة وينخفض الاستهلاك النوعى للأكسجين كما أن كلا من الصلب والخبث يكون أقل عرضة للتأكسد ولهذا يقل استهلاك المواد النازعة للأكسجين ( ويطول عمر البطانة ) .

وبالرغم من هذا فقد نضطر أحيانا الى إعادة نفخ الصلب لسبب أو لآخر وعندئذ نلجأ الى اجراء عملية الكربنة عليه باضافة مصهور

الحديد الزهر • ويضاف الحديد الزهر من الخلط مباشرة اذا كانت نسبة المنجنيز المسموح بها فى الصلب أعلى من ٠.٥٪ أما اذا كان مطلوباً أن تكون نسبة المنجنيز أقل من ٠.٥٪ ( كما فى صلب العدد والآلات ) فانه فى هذه الحالة يعاد نفخ الصلب حتى تصل نسبة الكربون الى ٠.٥ - ٠.٧٪ وعندئذ يتكون حديد زهر خالص منخفض المنجنيز يصهر فى أفران الدست أو واسطة حديد زهر يعالج ، بالأكسجين فى البودقة بالاستعانة بالمواد المخيثة •

ولصناعة الفولاذ الذى يحتوى على نسبة منخفضة من المنجنيز يزال الخبث الأولى المتكون تماماً ثم يضبط الخبث الجديد بحيث يكون مؤكسدا حتى تتلاقى اختزال المنجنيز •

عند كربنة الصلب بواسطة الحديد الزهر من الخلط مباشرة يوقف نفخ الأكسجين عندما تصل نسبة الكربون الى حوالى ٠.٨٪ ويستحسن أخذ عينة من الصلب لتحديد كل من الكربون والمنجنيز بدقة وتقاس درجة الحرارة بواسطة الازدواج الحرارى •

عند أخذ العينة يزال ¼ الخبث المتكون ثم يضاف الجير بعد ذلك وتسخن كمية الحديد الزهر بحذر حتى نحول دون حدوث أى تفاعل شديد قد يحدث ، داخل المحول •

بعد اضافة الحديد الزهر تؤخذ عينة من الممدن وتقاس درجة الحرارة ثم تضبط التحاليل باضافة الاضافات كالفرمانجنيز الذى يضاف الى المحول والفحم ذى الأحجام الصغيرة الذى يضاف فى البودقة •

وفيما يلى طريقة حساب كمية الحديد الزهر التى تضاف الى الصلب لاجراء عملية الكربنة •

يشحن المحول بثلاثين طناً من الحديد الزهر ويفرض أن الكفاية الانتاجية له = ٩١٥٪ فان :

تحاليل الصلب المطلوب هى : - ٤٥٪ كربونا ، ٧٪ منجنيزا

وزن الصلب الناتج بالمحول فى نهاية النفخ = ٢٧٥ طناً •

تحاليل الحديد الزهر بالخلط : - ٤٢٪ كربونا ، ١٨ منجنيزا ٠.٨٪ فوسفورا ، ٠.٥٪ كبريتا

التركيب الكيميائى للصلب قبل اجراء الكربنة عليه هو : -

٠.٨٪ كربونا ، ٤٢٪ منجنيزا ، ١٨٪ فوسفورا ، ٠.٣٩٪ كبريتا

كمية الكربون المطلوب اضافتها = ٤٥ ر - ٠٨ ر = ٣٧ ر /  
أو كمية الكربون = ٠١ ر × ٢٧٥ × ٠٣٧ = ٠١٠٢ ر طنا  
ومن واقع التجارب وجد أن وزن الكربون المستفاد فعلا من الحديد  
الزهر = ٧٠ %

$$\text{إذا : وزن الكربون المطلوب فعلا} = \frac{١٠٢ \times ١٠٠}{٧٠} = ١٤٦ \text{ ر طنا}$$

$$\text{إذا : وزن الحديد المطلوب اضافته للحصول على ١٤٦ كجم} = \frac{١٤٦ \times ١٠٠}{٤٢} = ٣٤٧٠ \text{ كجم}$$

ولكن هذه الكمية تحوى على مقدار من المنجنيز = ٠١ ر ×  
٣٤٧٠ × ١٨ ر = ٦٢٥ كجم

$$\text{أو بنسبة فى الصلب} = \frac{٦٢٥}{١٠} \times \frac{١٠٠}{٢٧٥٠٠} = ٠٢٣ \%$$

وتصبح نسبة المنجنيز فى الصلب = ٠٤٢ ر + ٠٢٣ ر = ٠٦٥ ر %  
ويصبح التصحيح لهذه النسبة لازما .

$$\text{يحتوى الحديد الزهر كمية من الفوسفور مناظرة لنسبة} = \frac{٠١ ر \times ٣٤٧٠ \times ٠٨ ر \times ١٠٠}{٢٧٥٠٠} = ٠٠١ \%$$

## ١١ - صناعة الصلب ذى العناصر السبائكية المنخفضة

والمستخدم فى تسليح المباني

ك	٢ ر - ٢٩ ر
م	٢ ر - ٦ ر
س	٦ ر - ٩ ر
كب	أقل من ٠٠٥ ر
فو	أقل من ٠٠٥ ر

يصنع هذا النوع من الصلب بسهولة بنفخ الحديد الزهر  
بالأكسجين من أعلا للحصول على نسبة المنجنيز المطلوبة ويضاف له  
الفيرومنجنيز وهو فى المحول وتحسب الكمية المستفادة من المنجنيز على  
أنها حوالى ٧٠ - ٧٥ % منه فقط .

صناعة الصلب - ٢٠٩



جدول ( ٣٦ )

النسبة المئوية للعناصر					نوع الصلب
فـ	كـب	سـ	٢	كـب	
٠٠٤	٠٠٤	٠٠٣	٠٣٥ - ٠٥٥	لغاية ٠١	مستخدم في صناعة القضبان المستديرة
٠٠٤٥	٠٠٥	آثار	لغاية ٠٥	لغاية ٠١	مستخدم في صناعة أسلاك البرق

## صناعة الصلب الفوار المستخدم لتصنيع القضبان وأسلاك البرق :

ولهذا السبب فإنه من الضروري ألا يزيد نسبة الكبريت بمصهور الصلب عن ٠.٣٧٪ وقد تصادفنا أحيانا بعض العقبات فى سبيل الحصول على هذا النوع من الصلب بنسبة منخفضة من الكبريت .

وعند اجراء الاختبارات الميكانيكية على أسلاك البرق المصنوعة من صلب الافران المفتوحة وقطرها ( ٦٥ مم ) يجب أن تتحمل هذه الأسلاك ما لا يقل عن عشرة ثنات دون انهيار ، كما يجب أن لا نقل دقاومنها للشد عن ٣٢ كجم / مم ٢ ولا نزيد مقاومتها الكهربائية عن ١٣٣ أوم لكل ١ مم طولى منها ، ١ مم ٢ من مساحتها .

وتفى أسلاك البرق المدرفلة من صلب المحولات بكل المواصفات السابقة ويمكنها تحمل اختبارات المنى حتى ٩ - ١٥ ثنية قبل ان تنكسر .

وتبلغ قوة التحمل النهائية ٣٣٩ - ٤١٥ كجم / مم ٢ وتكون عادة ٣٥ - ٣٩ كجم / مم ٢ ( الحوالى ٦٤٧٪ من مجموع الصبات ) أما المقاومة لسريان الكهرباء فتبلغ ١٠٦ ر - ١٣٢ ر أوم وغالبا ما يصل هذا الرقم لمعظم الصبات الى ١١١ ر - ١٢٠ ر أوم .

جدول ٣٧

نوع الصلب	نسبة العناصر		
	لا يزيد عن		م
	كـ	فو	
١	٠.٠٩ - ٠.١٤	٠.٠٣ - ٠.٠٥	٠.٠٣ - ٠.٠٥
٢	٠.١٤ - ٠.٢٢	٠.٠٣ - ٠.٠٥	٠.٠٣ - ٠.٠٥

### جودة الصلب الفوار المصنوع في المحولات

يحظى الصلب الفوار المصنوع في المحولات بطريقة النفع العلوية بالأكسجين بتطبيقات واسعة في حياتنا العملية فمنه تصنع جميع أنواع الفطاعات المختلفة وألواح الصاج والكل نصف المشكلة والركيب الكيميائي لصلب المحولات والأفران المفتوحة مبين في جدول ٣٧ .

ويمكن معرفة كمية العارات المتكونة في هذا الصلب الفوار من جدول ٥٠ ( حيث أن درجة نقاء الأكسجين ٩٨.٦٪ ) .

جدول ( ٣٨ )

نوع الصلب	٪ العنصر		نسبة الهيدروجين سم ١٠٠/٣ جم
	أ ٢	ن ٢	
١	٠.٠٠٣ - ٠.٠٠٧	٠.٠٠٤ - ٠.٠٠٦	١.٨ - ٣.٦
٢	٠.٠٠٣ - ٠.٠٠٦	٠.٠٠٣٨ - ٠.٠٠٦	١.٣ - ٣.٢
٣	٠.٠٠٦ - ٠.٠٢	٠.٠٠٤٥ - ٠.٠٠٨٥	٥ - ٧.٧

من جدول ( ٣٨ ) يتضح لنا أن صلب المحولات الفوار ليس أقل شبعا بالعازات من صلب الأفران المفتوحة .

ومن الطبيعي أن ترتبط كمية النروجين الموجودة بالصلب بدرجة نقاء الأكسجين المدفوع الى المحول كما في جدول ( ٣٩ ) .

جدول ( ٣٩ )

السبب المنوي للسروجين في الصلب	درجة نقاوة الأكسجين /
٠٠٦٢ ر - ٠٠٦٨ ر	حتى ٩٠
٠٠٩٢ ر - ٠٠٦٥ ر	٩٢ - ٩٠ ر
٠٠٧٢ ر - ٠٠٥٦ ر	٩٤ - ٩٢ ر
٠٠٧٠ ر - ٠٠٥٥ ر	٩٦ - ٩٤ ر

أي أن كمية النروجين الموجودة بالصلب تنخفض بارتفاع درجه نقاوة الأكسجين حتى إذا ما وصلت درجة النقاوة إلى ٩٩.٤٪ انخفضت نسبة النروجين في الصلب إلى أقل من ٠.٢٥٪ .

من الصعب الحصول على صلب يحتوي على نروجين سببه أقل من ٠.٠٨٪ في المتوسط باستعمال أكسجين درجه نقائه ٩٢٪ .

وتأثر خواص الصلب كثيرا بالتغير في نسبة النروجين فالتغير في حدود + ٠.٠١٪ يؤثر على سلوك الصلب المستخدم في أغراض التشكيل المختلفة كالبيع والسحب خاصة إذا كان المعطع أقل من ١ مم ٠٢

ويعطى القطاعات المشكلة المصنوعة من الصلب الفوار مقاومة للشد تفي بالمواصفات القياسية والفنية التي تتوافر في صلب الأفران المفتوحة .

يستخدم الصلب المصنوع في المحولات في ستنى الأغراض الصناعية كالعوارض والكمربات المجرى والمرافق ( الكيعةان ) وألواح الساج . ومقاومة هذا النوع من الصلب للصدمات عند درجات الحرارة المختلفة + ٢٠ درجة مئوية ، صفر °م ، - ٢٠ °م ، - ٤٠ °م ، - ٦٠ °م أكبر من الصلب المصنوع في الأفران المفتوحة المستخدم في نفس الأغراض ( كما في شكل ٥٣ ) .

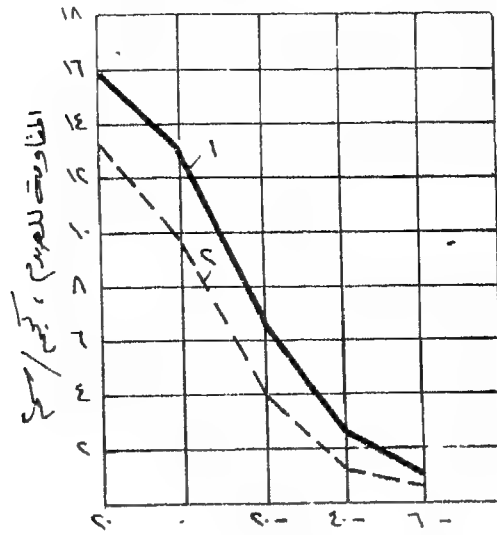
ومن الجدول يمكن مقارنة مقاومة الصدمات ( كجم / سم ٢ ) لكتله أبعادها ٨٠ × ٨٠ من صلب المحولات ومن صلب الأفران المفتوحة درجه ٣ عند درجات الحرارة المختلفة .



جدول ( ٤٠ )

درجة الحرارة ٥٠						نوع الصلب
٦٠ -	٤٠ -	٢٠ -	صفر	٢٠ +		
١٦٦ - ١٦٦	١٦٤ - ١٠٥	١٠٦ - ١٢٢	١٦٦ - ١٢٩	١٨ - ٨		صلب المعولات
١٥ - ٢٩	١ - ١٦٦	١٠٨ - ١٠٨	١٩ - ٢٧٧	١٩١ - ٦٨		صلب الأفران المتبردة

ولعل هذه الصلابة سبباً على همدرة طريفه المعخ العلويه  
بالاكسجين على انماج الجديد من أنواع الصلب المختلعه وفي الوقت نفسه  
فان الخواص الميكانيكية وخواص التشغيل لها تضارع نظيرتها لصلب  
الافران المصنوعة كم أن صلب المحولات يمتاز بسهولة لحامه بالكهرباء،  
ويمكن سحب من المضبان المدلفنة قطر ٦٥ مم الى أسلاك مختلفة الأبعاد  
والأقطار حتى أقل من ١ مم ، دون الحاجة الى عمليات تخمر وسيطة .



شكل (٥٣) : مقاومة الشد لصلب درجه ٣ :

١ - صلب المحولات عند درجات حراره مختلفه

٢ - صلب الافران المصنوعة

## ١٢ - الموازنة المادية والحرارية فى طريقة النفخ العلوية

### بالأكسجين

لتسهيل الحسابات تعتبر الموازنة المادية لـ ١٠٠ كجم من سحبة الحديد الزهر وقد وضعت البيانات الأولية اللازمة لحساب الموازنة المادية فى الجدول الآتى : -

جدول ( ٤١ )

النسبة المئوية للعناصر الموجودة بالحديد الزهر					
ك	م	س	ك ب	فو	
٤٢٣ر	١٦ر	٧٧ر	٥٥ر	٨٣ر	الحديد الزهر
١٢ر	٥ر	آمار	٤٣ر	٢٩ر	الصنّب الناتج
٣١ر	٧٩ر	٧٧ر	١٢ر	٥٥ر	نسبة العناصر المأكسدة

ويضاف لمبه من الخام بنسبه ٦٪ كما يضاف اليوكسييد بوايح ١٪ ولنفرص ما يأتى : ٩٠٪ من كمية الكربون الكليله نناكسد الى اول أكسيد الكربون ، ١٠٪ الى ثابى أكسيد الكربون ، كمية الفاقد من الحديد فى الخبث بنسبه ١٥٪ منها ١٪ يحول الى ح أ والباقى الى ح ٢ آ ٣٠

• كمية الفاقد من الحديد فى الغبار ( الدخان ) ١٪

• وزن البطانة المستهلكة تعادل ٢٪ من وزن الحديد الزهر

تركيب البطانة : ٦٩ر٦٪ أكسيد ماغنسيوم ، ١٠٪ أكسيد كروم

• وجدول ٤٢ يعطى نحاليل المواد المستهلكة فى عملية النفخ : -

جول ( ٤٢ )

النسبة المئوية للمبيعات								اخراج
س	٢٠١٢	ك	٢٠١٢	٢٠١٢	٢٠١٢	٢٠١٢	٢٠١٢	
١	١٠٩٢	١١٦٥	١٠٠	٩٥٠٣٤	—	—	٨	البحر
٢	—	—	٢٠٢٣	١٢٤٦	٩٥	٨٣١٧	٧	العام
٣	—	١٤	٤٧٤	—	—	١٠٣٥	٢٣٠٢	البركست

فدعنا نفرض ان الكبريت برال من الصلب الناتج على هيئة كبريتيد المنجنيز الذى يتحول الى كبريتيد الكالسيوم كما كتب ، فبزال ٠.١٢ ر/ من الكبريت وينحد هذا بكمية من المنجنيز

$$= ٠.١٢ ر \times \frac{٥٥}{٣٢} = ٠.٢١ ر كجم$$

حيث : ٥٥ = الوزن الذرى للمنجنيز

، ٣٢ = الوزن الذرى للكبريت

وزن المتبقى من المنجنيز = ٧٩ ر - ٠.٢١ ر = ٧٦٩ ر كجم

وينحد هذه الكمية من المنجنيز بالاكسجين

### حساب وزن الأكسجين اللازم لأكسدة الحديد

#### والشوائب الموجودة بالحديد الزهر

يتأكسد ٢٣١ ر كجم من الكربون فى كل ١٠٠ كجم من الحديد الزهر ،  
١٠٪ منها يتحول الى أول أكسيد الكربون :

$$= ٩٠ ر \times ٢٣١ = ٣٨٧٩ ر كجم$$

و ١٠٪ منها يتحول الى ثانى أكسيد الكربون :

$$= ٠.١ ر \times ٤٣١ = ٤٣١ ر كجم$$

وزن الأكسجين اللازم لأكسدة الكربون الى أول أكسيد الكربون :

$$= ٣٨٧٩ ر \times \frac{١٦}{١٢} = ٥١٧ ر كجم$$

حيث :

١٦ = الوزن الذرى للأكسجين

١٢ = الوزن الذرى للكربون

ويكون وزن أول أكسيد الكربون = ٥١٧ ر + ٣٨٧٩ ر = ٤٣٩٦ ر كجم

كجم

وسوف نطبق هذه الطريقة لحساب أوران الاكسجين اللارة لأكسدة الشوائب الأخرى وجدول (٤٣) يعطى البيانات الخاصة بأكسدة الشوائب الأخرى

جداول ( ٤٣ )

وزن المركبات المتكونة . كجم	وزن الأكسجين المطلوب . كجم	القانون الكيميائي للمركبات المتكونة	النسبة المئوية
٩٠٠٤٩	$\frac{16}{12} \times 3879 = 517.0$	ك أ	ك 3879
١٥٨١	$\frac{32}{12} \times 431 = 1150$	ك أ	ك 431
١٦٥٠	$\frac{32}{28} \times 77 = 88$	س أ	س 77
٠٩٩٢	$\frac{16}{55} \times 769 = 223$	م أ	م 769
٠١٢٤	$\frac{80}{72} \times 54 = 50.7$	م أ	م 54
٠٧١٥	$\frac{48}{112} \times 15 = 6.15$	ح أ	ح 15
١٢٨٦	$\frac{16}{56} \times 286 = 76.86$	ح أ	ح 286
١٤٣	$\frac{48}{112} \times 43 = 15.43$	ح أ	ح 43
٠٠٣٣	—	ك أ	ك 33
	٨٤٢٤		المضاعف ٤٢٤

وبتحليل الأكسجين في المحول كما يأتي : ٩٨٦ / أكسجين ،  
١٤٪ نتروجين .

إذا : كمية الأكسجين اللازمة  $\times \frac{٨٤٢٤ \times ١٠٠}{٩٨٦} = ٨٥٤٠$  كجم

$$\text{أو } \frac{٨٥٤}{١٤٣} = ٥٩٧ \text{ م}^٣$$

حيث : ١٤٣ = وزن المتر المكعب من الأكسجين

ويحتوى ٨٥٤ كجم من الأكسجين المنفوخ على ٨٤٢ كجم من  
الأكسجين ، ١٢ كجم من النتروجين .

كما أن جزءا من الأكسجين يحصل عليه من خام الحديد إذ  
يختزل ٩٠٪ من الخام إلى عنصر الحديد والباقي ( ١٠٪ ) إلى أكسيد  
الحديدوز فإذا أضيف ٦ كجم من الخام الذى يحتوى على ٨٣١٧ /  
ح ٣١٢ فان ٩٠٪ منها تختزل وتعطى كمية من الأكسجين :

$$= \frac{٤٨ \times ٨٣١٧ \times ٠٩ \times ٦}{١٦٠ \times ١٠٠} = ١٣٤ \text{ كجم}$$

والباقي الذى يختزل إلى أكسيد الحديدوز يعطى كمية من  
الأكسجين :

$$= \frac{١٦ \times ٨٣١٧ \times ٠١ \times ٦}{١٦٠ \times ١٠٠} = ٠٥ \text{ كجم}$$

إذا : الوزن الكلى للأكسجين = ١٣٤ + ٠٥ = ١٣٩ كجم

وبافتراض أن المستعمل فعلا من هذا الأكسجين يعادل ٩٠٪ منه

$$= ٩٠ \times ٩٧ = ٠٨٧ \text{ م}^٣$$

إذا : كمية الأكسجين اللازمة = ٩٧ - ٨٧ = ١٠ م<sup>٣</sup>

أي أن الطن من الحديد الزهر يتطلب ٥١ مترا مكعبا من الأكسجين .

### حساب وزن الجير :

ربط السليكا س ٢١ بأكسيد الكالسيوم لتكوين سليكات الكالسيوم  
٢ كآ ٠ س ٢١ يستلزم ١١٢ كجم من أكسيد الكالسيوم لكل ٦٠ كجم من

السليكا ( ١١٢ = ضعف الوزن الجزيئى لأكسيد ، ٦٠ = الوزن الجزيئى للسليكا ) أى أن ١ كجم من السليكا يلزمه  $\frac{112}{60}$  كجم من أكسيد الكالسيوم .

وفى حالتنا هذه نجد أن وزن السليكا المتكونة من أكسدة السامكون الموجود بالحديد الزهر = ١٦٥ كجم .

ولتخبيث هذه الكمية فان وزن أكسيد الكالسيوم اللازم لهذه العملية

$$= 165 \times \frac{112}{60} = 308 \text{ كجم}$$

ويحتوى الجير على ٠.٨ كجم من السليكا يلزم لها وزنا من أكسيد الكالسيوم =  $0.8 \times \frac{112}{60} = 1.495$  كجم

إذا : وزن أكسيد الكالسيوم المتبقى فى الجبر منفردا =  $953.40 - 1.495 = 931.905$  كجم

وبحسب كمية أكسيد الكالسيوم اللازمة للاتحاد بالسليكا الموجودة بخام الحديد كما يأتى :

وزن الخام المضاف ٦ كجم ، يحتوى الخام على ١١.٧٪ منه سليكا .

أى أن وزن السليكا به =  $0.1 \times 6 \times 11.7 = 4.212$  كجم

وزن أكسيد الكالسيوم اللازم للاتحاد بهذه السليكا

$$= 4.212 \times \frac{112}{60} = 7.81 \text{ كجم}$$

ويحتوى البوكسيت على كمية من السليكا وزنها :

وزن السليكا الموجودة بالبوكسيت =  $0.1 \times 1 \times 23.42 = 2.342$  كجم

وزن أكسيد الكالسيوم اللازم لها =  $2.342 \times \frac{112}{60} = 4.37$  كجم



وزن أكسيد الكالسيوم اللازم لتثبيت خامس أكسيد الفوسفور الى  
( كما ا في فور ٢ أ )

$$= 0.124 \times \frac{224}{122} = 0.196 \text{ كجم}$$

حيث :

$$224 = 4 \times \text{الوزن الجزيئي لأكسيد الكالسيوم}$$

$$122 = \text{الوزن الجزيئي لخامس أكسيد الفوسفور}$$

وزن أكسيد الكالسيوم اللازم لتحويل كبريتيد المنجنيز الى كبريتيد  
الكالسيوم .

$$= 0.43 \times \frac{56}{87} = 0.21 \text{ كجم}$$

حيث :

$$56 = \text{الوزن الجزيئي لأكسيد الكالسيوم}$$

$$87 = \text{الوزن الجزيئي لكبريتيد المنجنيز}$$

$$= \text{إذا : الوزن الكلي لأكسيد الكالسيوم اللازم}$$

$$= 0.08 + 0.31 + 0.43 + 0.196 + 0.21 = 0.37 \text{ كجم}$$

ويجب مراعاة أن تكون هناك وفرة من أكسيد الكالسيوم في الحث  
ولذلك فإن الكمية اللازمة من أكسيد الكالسيوم قد قدرت بستة  
كيلو جرامات .

$$= \text{إذا : وزن الجبر بالتحاليل السابقة الذي يجب اضافته}$$

$$= \frac{6 \times 100}{93.845} = 6.4 \text{ كجم}$$

حساب مركبات الجير :

$$\text{س}^{\text{أ}} : 0.1 \times 6.4 \times 0.8 = 0.51 \text{ كجم}$$

$$\text{ل}^{\text{أ}} : 0.1 \times 6.4 \times 1 = 0.64 \text{ كجم}$$

$$\text{ك}^{\text{أ}} : 0.1 \times 6.4 \times 95.34 = 61.00$$

مركبات البطانة المستهلكة :

$$\text{مغ أ : } 0.1 \times 2 \times 696 = 138 \text{ كجم}$$

$$\text{كمر أ : } 0.1 \times 2 \times 10 = 2 \text{ كجم}$$

مركبات خام الحديد :

يخزنل ٩٠٪ من حام أكسيد الحديدك ح ٢ إلى الحديد ويخزنل البافى (١٠٪) إلى ح أ

$$\text{وزن الحديد المخزنل} = \frac{112 \times 8317 \times 9 \times 6}{160 \times 100} = 316 \text{ كجم}$$

حيث :

$$6 \text{ كجم} = \text{وزن الحام المضاف}$$

$$9 \text{ كجم} = 90\% \text{ من الاختزال}$$

$$8317\% = \text{نسبة أكسيد الحديدك فى الخام}$$

$$\frac{112}{160} = \text{وزن الحديد الموجود فى ١ كجم من أكسيد الحديدك}$$

وزن أكسيد الحديدوز ح أ الناتج من اختزال ح ٢ والتي تتحول إلى الحثب

$$\text{وزن الحديد} = \frac{12 \times 8317 \times 1 \times 6}{160 \times 100} = 35 \text{ كجم}$$

$$\text{وزن ح أ} = 35 \times \frac{72}{56} = 45 \text{ كجم}$$

$$\text{س أ : } 7 \text{ كجم}$$

$$\text{لو أ : } 0.1 \times 146 \times 6 = 88 \text{ كجم}$$

$$\text{كا أ : } 0.1 \times 95 \times 6 = 57 \text{ كجم}$$

مركبات البوكسيت :

$$\text{س أ : } 23 \text{ كجم}$$

$$\text{لو أ : } 0.1 \times 474 \times 1 = 474 \text{ كجم}$$

ويمكن وضع التركيب الكيميائي للمخبت في جدول كالآتى :

جدول ( ٤٤ )

النسبة المئوية	المجموع الكلي كجم	من البطانية	من البوكسيت	من الجير	من خام الحديد	من تأكسد الحديد والشوائب الموجودة في الحديد الزهر	المكونات
١٨ر٢	٢٦٦٣١	-	٦٣	٢٠٥١	٧	١٦٥	٢٢ س١
٤٢	٦٠٥٧	-	-	٦	٢٠٥٧	-	٣١ ل٢
٤٢	٦٦٦	-	٤٧٤	٢٦٤	٢٠٨٨	-	٣١ ل٢
١٢	١٧٢٦	-	-	-	٤٥	٢٨٦	٣١ ل٢
٤٩	٧١٥	-	-	-	-	٧١٥	٣١ ل٢
٦٩	٩٩٢	-	-	-	-	٩٩٢	٣١ ل٢
٩٥	١٣٨٠	١٣٨	-	-	-	-	٣١ ل٢
١٤	٢	٢	-	-	-	-	٣١ ل٢
٥٩	١٢٤	-	-	-	-	١٢٤	٣١ ل٢
٪١٠٠	١٤٤٦١						

### تركيب الغازات المتصاعدة من المحول

وزن ثاني أكسيد الكربون المكون ١٥٨١ كجم ، وزنه الجزيئي = ٢٤

إذا : ١٥٨١ كجم من كـ ٢ يحتوي على  $\frac{١٥٨١}{٢٤} = ٠.٣٦$  ر جزئ كيلو جرام

ولكن الجزئ الكيلوجرامى من أى غاز يشغل حجرا قدره ٣٢٢٤م

إذا : تركيب الغازات حجما لكل ١٠٠ مجم من الحديد الزهر =

$$\text{كـ ٢ : } ٠.٣٦ \times ٢٢٤ = ٨١ \text{ مـ ٣} \quad ١٠\%$$

$$\text{كـ ١ : } \frac{٩٠.٤٩}{٢٨} \times ٢٢٤ = ٣٧٢٤ \text{ مـ ٣} \quad ٨٨.٨\%$$

$$\text{ن ٢ : } \frac{٠.١٢}{٢٨} \times ٢٢٤ = ٠.٩٦ \text{ مـ ٣} \quad ٢\%$$

$$\text{المجموع} \quad ٣٨١٤٦ \text{ مـ ٣} \quad ١٠٠\%$$

وعمليا تحتوى الغازات المتصاعدة من المحول على كمية معينة من الأكسجين والنيتروجين الناتجين من تحلل الرطوبة الموجودة بالمواد أو التي تدخل المحول مع الأكسجين أو التي تتسرب خلال أنبوبة تمويل الأكسجين .

### حساب وزن الصلب الناتج

تحتسب أوزان لحديد الناتج عن اختزال أكسيد الحديد الخام وال بوكسيت كما يلى :

يحتوى الخام على ٨٣.١٧٪ ح ٢ ( يهمل الحديد الموجود فى أكسيد الحديدوز ) ويضاف الخام بمعدل ٦ كجم :

$$\text{إذا : وزن ح ٢} = ٠.١ \times ٨٣.١٧ \times ٦ = ٤٩٨ \text{ كجم}$$

ويحتوى البوكسيت على ١٠.٣٥٪ من ح ٢ وتكون اضافته بمعدل ١ كجم

$$\text{إذا : وزن ح ٢} = ٠.١ \times ١٠.٣٥ \times ١ = ٠.١ \text{ كجم}$$

$$\text{إذا : وزن ح ٢ الكلى} = ٤٩٨ + ٠.١ = ٥٠٨ \text{ كجم}$$

$$\text{كمية الحديد الموجود فى ح ٢} = \frac{١١٢}{١٦٠} \times ٥٠٨ = ٣٥٦ \text{ كجم}$$

وزن الحديد المخزنل ( ٩٠٪ منه ) = ٣٥٦ × ٠.٩ = ٣٢٢ كجم

ويتصيد الحث بعضا من الحديد ٠٠ ولقد وجد عمليا أن كمية الحديد المتصيدة فى الحث النهائى الناتج بهذه الطريقة ( طريقة النفخ العلوبة بالاكسجين ) تتغير من صبة لأخرى ونتوقف على لزوجة الحث ومتوسط هذه الكمية فى خمسين تجربة ٦٩٪ من وزن الحث \* ويبلغ وزن الحث الناتج ١٤٤٦١ كجم من الحديد الزهر .

إذا : اكل ١٠٠ كجم من الحديد الزهر يفقد كمية من الحديد =

$$= ٠.١ \times ٦٩ \times ١٤٤٦١ = ١ \text{ كجم}$$

وزن العناصر الضائعة = ٨٤٢٤ كجم

إذا : وزن الصلب الناتج = ١٠٠ + ٣٢٢ - ٨٤٢٤ = ٩٣٧٧٦ كجم

ويمكن ننسيق الموازنة المادية فى جدول كما يأتى :

جدول ( ٤٥ )

الشحنة / كجم		وزن الناتج / كجم	
حديد زهر	١٠٠.٠٠	صلب منصهر	٩٣٧٧٦
أكسجين	٨٥٤	غازات	١٠٤٦١
خام الحديد	٦٠٠	حث	١٤٧٤٠
جير	٦٤	حديد ضائع فى الحث	١٠٠٠
البوكسيت	١٠٠	مقذوفات ، حديد ضائع	
		كأبخرة داكنة مع الغازات	
		المتصاعدة *	
بطانة	٢٠٠		٣٩٦٣
المجموع الكلى	١٢٣٩٤	-	١٢٣٩٤

## الموازنة الحرارية

للسهولة نعتبر ١٠٠ كجم من شحنة الحديد الزهر أساسا في حساباتنا للموازنة الحرارية .

### الحرارة الداخلة :

$$\begin{aligned} ١ - \text{كمية الحرارة الداخلة مع الحديد الزهر :} \\ = ١٠٠ ( ٠.١٧٨ \times ١٢٠٠ + ٥٢ + ٠.٢٥ ) ( ١٢٥٠ - ١٢٠٠ ) \\ = ٢٧٨٥٠ \text{ سعرا} \end{aligned}$$

حيث :

$$\begin{aligned} ١٢٠٠ &= \text{درجة انصهار الحديد الزهر ، درجة مئوية} \\ ١٧٨ &= \text{السعة الحرارية للحديد الزهر قبل نقطة الانصهار ،} \\ &\text{سعرا / كجم } ^\circ\text{م} \\ ٥٢ &= \text{الحرارة الكامنة للانصهار} \\ ٠.٢٥ &= \text{السعة الحرارية للحديد الزهر المنصهر} \\ &\text{سعرا / كجم } ^\circ\text{م} \\ ١٢٥٠ &= \text{درجة حرارة الحديد الزهر عند صبه في المحول } ^\circ\text{م} \end{aligned}$$

### ٢ - كمية الحرارة الناتجة عن تيار الأكسجين :

$$\begin{aligned} &\text{يدفع الأكسجين الى المحول عند درجة حرارة } ٣٠ \text{ درجة مئوية .} \\ &\text{والسعة الحرارية للأكسجين عند هذه الدرجة } = ٠.٢٣ \\ &\text{سعرا / كجم } ^\circ\text{م} \\ &\text{إذا : كمية الحرارة الداخلة مع الأكسجين } = ٨٥٤ \times ٣٠ \times ٠.٢٣ = \\ &٥٩ \text{ سعرا} \end{aligned}$$

### ٣ - كمية الحرارة الناتجة من احتراق الكربون :

$$\begin{aligned} &\text{عند احتراق ١ كجم من الكربون الى أول أكسيد الكربون تبعث} \\ &٢٤٥٢ \text{ سعرا} \\ &\text{عند احتراق ١ كجم من الكربون الى ثاني أكسيد الكربون تبعث} \\ &٨١٣٧ \text{ سعرا} \\ &\text{إذا : } ٨١٣٧ \times ٠.٤٣١ + ٢٤٥٢ \times ٣٨٧٩ = ١٣٠٠٠ \text{ سعرا} \end{aligned}$$

٤ - كمية الحرارة الناتجة عن احتراف السليكون الى السليكا ثم احتراف السليكا بأكسيد الكالسيوم لتكوين ٢ كإ٠ س٠أ٢ ونتصاعد نتيجة لتأكسد ونخبث ١ كجم من السيلكون كمية من الحرارة = ٧٤٢٨ سعرا

$$٠.٧٧ \times ٧٤٢٨ = ٥٧٢٠ \text{ سعرا}$$

٥ - كمية الحرارة الناتجة عن تأكسد الفوسفور ونخبثه لتكوين ( كإ٠ ) ؛ ف٢٠ وتساعد كمية من الحرارة لكل ١ كجم من الفوسفور = ٨٥٥٠ سعرا .

$$١٠.٥٤ \times ٨٥٥٠ = ٩٦٢٢ \text{ سعرا}$$

٦ - كمية الحرارة المتصاعدة عن تأكسد المنجنيز :

$$٠.٧٦٩ \times ١٧٥٨ = ١٣٥٠ \text{ سعرا}$$

٧ - كمية الحرارة المنبعثة نتيجة لتأكسد الحديد الضائع في الحث : عندما يتأكسد ١ كجم من الحديد الى ح' سطلق كمية من الحرارة = ١١٩١ سعرا

عندما يتأكسد ١ كجم من الحديد الى ح' ٢ سطلق كمية من الحرارة = ٢٠٧٦ سعرا

$$\text{اذا ، كمية الحرارة} = ١ \times ١١٩١ + ٠.٥ \times ٢٠٧٦ = ٢٠٧٦ \text{ سعرا}$$

٨ - كمية الحرارة الناتجة من تأكسد الحديد الذي ينطلق مع غاز المحول على هيئة يهدر الحديد الضائع في الغبار مع الغازات بحوالي ١٪ وعندما نتأكسد هذه الكمية الى الذي يعتبر أهم مكونات الغبار المتصاعدة من المحول تنبع كمية من الحرارة = ١٧٦٩ سعرا .

### الحرارة المستنفذة

١ - الحرارة الموجودة بالصلب المنصهر

$$= ٣١٧٠٠ \text{ سعرا حيث :}$$

$$١٦٧ \text{ ار} = \text{السعة الحرارية للصلب قبل أن ينصهر}$$

$$\text{سعرا / كجم}^\circ \text{م}$$

$$٦٥ = \text{الحرارة الكامنة للانصهار}$$

$$\text{سعرا / كجم}^\circ \text{م}$$

٢٠ = السعة الحرارية للصلب المنصهر

سعرا / كجم °م  
١٥٠٠ = درجة انصهار الصلب  
١٦١٠ = درجة الحرارة التي يصب عندها الصلب من المحول  
درجة مئوية

٢ - الحرارة الموجودة بالحطب :

$$= ١٤٤٦١ ( ٠.٢٩٤ \times ١٦١٠ + ٥٠ ) = ٧٥٦٠ \text{ سعرا}$$

حيث :

٠.٢٩٤ = السعة الحرارية للحطب  
سعرا / كجم °م  
٥٠ = الحرارة الكامنة لانصهار الحطب  
سعرا / كجم

٣ - كمية الحرارة التي تحملها الغازات معنا .

درجة حرارة الغازات فور خروجها من المحول = ١٤٠٠ درجة  
مئوية وعند هذه الدرجة تكون السعة الحرارية لكل من أول أكسيد الكربون  
والنتروجين = ٠.٣٢٩ درجة سعرا / م ٣ درجة مئوية والسعة الحرارية  
لثاني أكسيد الكربون = ٠.٥٣٤ سعرا / م ٣ درجة مئوية .

$$\text{إذا : كمية الحرارة} = ١٤٠٠ ( ٠.٣٢٩ \times ٧٢٤ + ٠.٥٣ \times ٠.٨١ ) + ٣٩٧٠ = ٠.١٢ \times ٠.٣٢٩ \text{ سعرا}$$

٤ - كمية الحرارة المستغلة في احتزال خام الحديد :

يختزل ٩٠٪ من خام الحديد واليوكسينيت الى ح بينما يختزل الباقي  
١٠٪ الى ح أ

ويلزم لاختزال ١ كجم من ح ٢ أم الى ح كمية من الحرارة = ١٧٦٩ سعرا  
إذا : كمه الحرارة اللازمة لاختزال ٣٢ كجم من الخام =  
= ١٧٦٩ \times ٣٢ = ٥٦٥٠ سعرا

ويلزم لاختزال ١ كجم من الحديد من ح ٢ أم الى ح أ ٦٠٧ سعرا وفي  
حاليها هذه يختزل ٣٥ كجم من الحديد في ح ٢ أم الى ح أ

$$\text{إذا : الحرارة المستغلة} = ٠.٣٥ \times ٦٠٧ = ٢١٢ \text{ سعرا}$$

إذا : الحرارة الكلية اللازمة لاختزال الحديد =

$$= ٥٦٥٠ + ٢١٢ = ٥٨٦٦ \text{ سعرا}$$

ويمكن وضع جميع البيانات الخاصة بالموازنة الحرارية في جدول  
كما يأتي :



جدول ( ٤٩ ) الحرارة الداخلة

النسبة المئوية	سعر	بنود مصادر الحرارة
٥٣١	٢٧٨٥٠	كمية الحرارة بمصهور الحديد الزهر
٠١	٥٩	كمية الحرارة بالأكسجين
٢٥٠	١٣٠٠٠	الحرارة الناتجة من تأكسد الكربون
١٠٩	٥٧٢٠	الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبث السليكون
٠٩	٤٦٢	الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبث الفوسفور
٢٦	١٣٥٠	الحرارة الناتجة عن تأكسد المنجنيز
٤٠	٢٠٧٦	الحرارة الناتجة عن تأكسد الحديد الضائع في الخبث
٣٤	١٧٦٩	الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبث الحديد الضائع في الغبار مع الغازات
٪١٠٠	٥٢٢٨٦	المجموع الكلي

الحرارة المستنفدة

النسبة المئوية	سعر	بنود استنفاذ الحرارة
٦٠٦	٣١٧٠٠	كمية الحرارة بمصهور الصلب
١٤٤	٧٥٦٠	كمية الحرارة بالخبث
٧٦	٣٩٧٠	كمية الحرارة في غازات المحول
١١٣	٥٨٦٢	كمية الحرارة المستغلة لاختزال الحديد
١١	٣١٩٤	كمية الحرارة الضائعة بالإشعاع وغيره من طرف فقد الحرارة الأخرى ( وتوجد بالفروق )
٪١٠٠	٥٢٢٨٦	المجموع الكلي

### ١٣ - نخطيط مصنع الصلب والمعدات اللازمة

#### لصناعة الصلب بطريقة النفخ العلوية بالأكسجين فى المحولات

نتبع نفس المبادئ الأساسية عند نخطيط مصنع الصلب بطريقة النفخ العلوية بالأكسجين كما فى مصنع محولات نوماس . وهناك الى جانب العناصر الأساسية عناصر اخرى خاصة لازمة لهذه الطريقة فهى تتطلب منا رفع وخفض أنبوبة الأكسجين بانتظام .

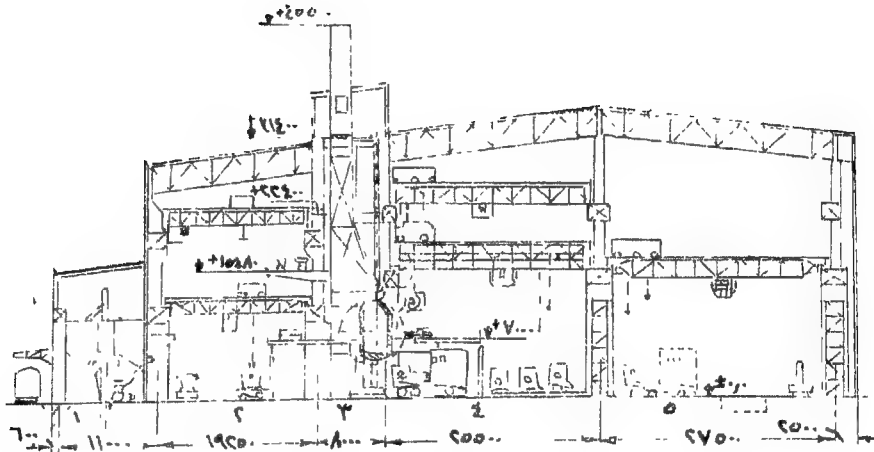
ولقد كان من جراء متطلبات اضافة كميات كبيرة من الحردة والجير والحام قبل وأثناء عملية النفخ واجراء تنفية الغازات المتصاعدة ، ظهور بعض الصعوبات فى تحديد مكان المحول وتنظيم مكان الأجهزة المختلفة بمقارنتها بمحولات نوماس .

وفيما يلى وصف لتخطيط وتنظيم بعض الوحدات حيب ينفخ الحديد الزهر بالأكسجين من أعلا المحول . يمتل شكل ٥٤ المقطع المستعرض لاحدى وحدات المحولات التى تسع ٣٠ طنا ويرى فى الشكل مكان خال لمحول ثالث ويوجد بالقسم خلاط سعة ١٠٠٠ طنا ويمد اثنين من الأفران المفتوحة بالحديد الزهر .

ويقوم بشحن الحديد الزهر بعد وزنه فى المحول ونش علوى منحرك حمولة ١٠٠ طن

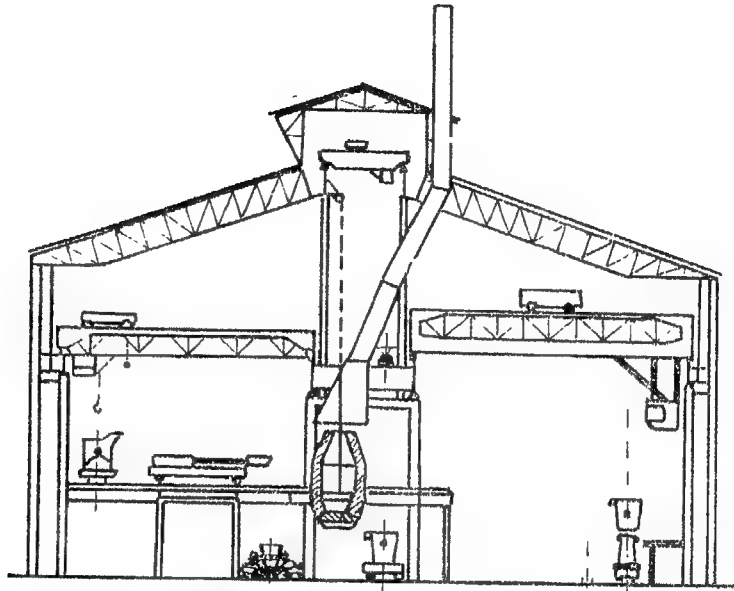
كما يوجد عدد من الأوناش الأخرى المساعدة بقوم بالاضافات المطلوبة لشحنة المحول والأعمال الاضافية المطلوب أداؤها داخل الوحدة ثم يضاف الجير وغيره من الاضافات الأخرى الى المحول خلال مسقط مائل عن منسوب تشغيل المحولات .

ويستخدم لرفع وخفض أنبوبة دفع الأكسجين ونش كهربائى يثبت فوق السطح العلوى ويدار من حجرة المراقبة ويستعمل جهاز هيدروليكي لامالة المحول .

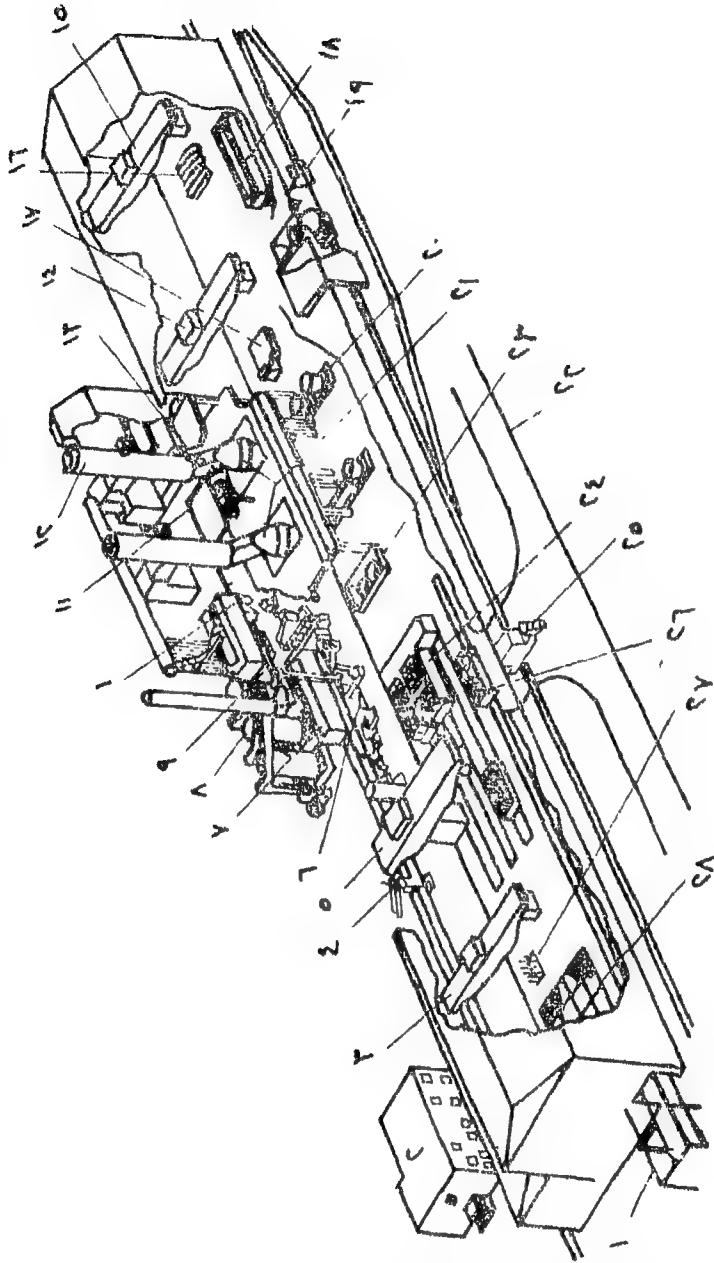


شكل (٥٤) : منظر المظع المستعرض في مصنع الصلب بواسطة المحولات ،  
وبه محولان سعة كل منهما ٣٠ طنا

ويوجد قسم خاص لصناعة الطوب الحراري من الدولوميت المقطرون ٠٠  
ويبلغ مصنع الصلب ٦٤ مترا طولا ويرتكز على أعمدة المسافة بينها ١٦  
مترا ٠٠ ونرى في شكل ( ٤١ ) رسما لوحدة تنظيف غازات المحول  
من الأتربة كما يوضح الشكل ( ٥٥ ) المقطع العرضي للمحول وخنادق  
الصب ٠



شكل (٥٥) : قطاع مستعرض في مصنع الصلب ، ويرى به قسم المحولات وقسم الصلب ٠



شكل (٥٦) : تخطيط المصنع الصلب يعمل به محولان سعة كل منهما ٤٠ طنًا

### أجهزة القياس التى نستخدم فى مصنع الصلب

نجهز مصانع الصلب الحديثة بمجموعة كبيرة من أجهزة القياس المخلعة التى تستخدم لقياس الكم والضغط ودرجة حرارة هواء النفخ ( هواء ، أكسجين ، بخار ماء ، ثانى أكسيد الكربون ) التى تدخل المحول فى وحدة زمنية واستهلاك وضغط درجة حرارة المياه المستخدمة فى أغراض تبريد أنبوبة الأكسجين فى طريقة النفخ العلوية ودرجة حرارة المعدن وكمية المياه والطاقة الكهربائية المستغلة فى تنقية الغازات المتصاعدة من المحول من درجة حرارة وكمية الغازات المارة خلال العادم ٠٠٠ الخ .

ونصميم ومبادئ تشغيل هذه الأجهزة ( أجهزة قياس التدفق ، قياس الضغط ) .

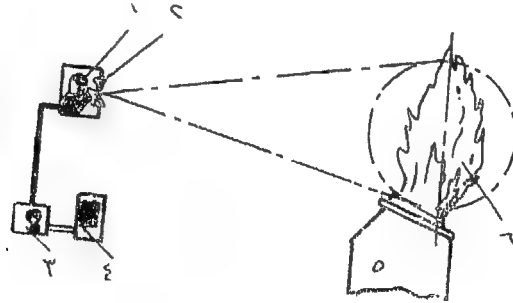
ولما كانت عملية النفخ سنغرق وقتا قصيرا فانه أصبح من المتعذر ضبط عمليات التشغيل المختلفة بالاسمعانة بالحاليل الكيميائية حتى باستخدام أحدث الأجهزة الموجودة فى عصرنا الحديث والتى تمتاز بدقتها وسرعها الفائقة لان أخذ عينة يحتاج الى توقف النفخ مما يتسبب فى ضاع الكثير من الوقت . ولهذا السبب بذلت المحاولات العديدة فى السنوات الأخيرة لمتابعة سير عملية النفخ أو إيقافها عن طريق الملاحظة والاسمعانة فى ذلك بالأجهزة المختلفة ، وكذلك بالتغيير الذى يطرأ على شعلة اللهب المنبعثة من فوهة المحول كدليل صادق على الحالة الراهنة للمعدن داخل المحول .

ويمكن الحصول على الانتاج المطلوب بطريقة ثابتة باستعمال حديد دهر دى تركيب كيميائى ثابت ودرجة حرارة مقاربة لنفس ظروف التشغيل المتماثلة وفى هذه الحالة يمكن إيقاف النفخ عند لحظة محددة ومعروفة ( عند نسبة معينة من الكربون فى الصلب ) .

ونحدد هذه اللحظة بأجهزة مختلفة تستخدم لقياس شدة استضاءة شعلة اللهب ( بواسطة الخلية الكهروضوئية ) . ونظرا لأهمية الأجهزة المختلفة نورد فيما يلى مبادئ استعمال بعض هذه الأجهزة التى تستخدم للملاحظة ( المراقبة ) سير العملية من خارج المحول ومن ثم تتقرر اللحظة التى يحسم عندها إيقاف النفخ .

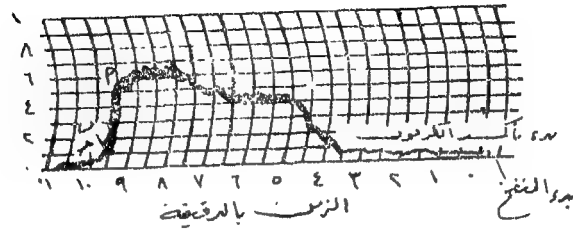
والخلية الكهروضوئية جهاز يستخدم لقياس الطاقة الضوئية للهب حيث يتحول الى طاقة كهربائية ويقوم جهاز تسجيل خاص بتدوين التيار الكهربائى السارى فى هذه الخلية الكهروضوئية وتركيبها مبين بشكل

(٥٧) ٠٠ ويراعى ألا يكون هناك أى عائق بين الشعلة والخلية الكهروضوئية كالأوناش والقاطرات مثلا كما يجب أن يكون استعمالها بعيدا كل البعد عن أشعة الشمس ويرى فى شكل (٥٨) منحنى درجات الانصهار كما يدونه جهاز الخلية الكهروضوئية فعند ناكسد السليكون تكون شعلة اللهب ضعيفة التوهج ( أقل اضاءة ) وذات طاقة ضوئية صغيرة اللهب كما هو موضح فى الرسم وعندما تصل نسبة الكربون الى ١٥٪ ( نقطة أ ) تهبط ( تضعف ) شدة توهج اللهب سريعا ( نقطة ب ) حتى تصبح نسبة الكربون ٠٥-٠٦٪ ثم يتتابع التناقض فى الطاقة الضوئية للهب .



شكل (٥٧) : تنظيم وضع الخلية الكهروضوئية :

- |                    |                |
|--------------------|----------------|
| ١ - خلية كهروضوئية | ٢ - مرشحات     |
| ٣ - مضخم ( مكبر )  | ٤ - جهاز تسجيل |
| ٥ - المحلول        | ٦ - شعلة اللهب |



شكل (٥٨) : شريط تسجيل لمبة فى محلول بسمه ثم اخذها بواسطة الخلية الكهروضوئية

بالوصول الى نقطه (ب) نأبى الى نهاية عملية النفخ حيث يجب إيقافه ويمثل الجزء ب - ج على المنحنى فترة امالة المحلول على المنحنى . أما اذا كان المراد توقف النفخ عندما تصبح نسبة الكربون ١٢-٠-١٥٪ فيجب امالة المحلول عند نقطة أ وبامالة المحلول بطريقة مطابقة للرسم البياني للخلية الكهروضوئية يصبح الفولاذ الناتج من الصببات المختلفة أكثر

تجانسا كما تقل كمية الغازات الذائبة به كالاكسجين والنيتروجين نتيجة لقصر فترة ما بعد النفخ وكثيرا ما تطول هذه الفترة في حالة الاعتماد على انتهاء النفخ بالنظر فقط .

ويمكن أن يلحق بالخلية الكهروضوئية جهاز لاصدار اشارة ضوئية أو صوتية عند اللحظة التي يتحتم عندها ايقاف النفخ . وعلى سبيل المثال زودت احدى الوحدات لصناعة الفولاذ سهل القطع في محولات بسمر بهذا الجهاز وكانت النتائج سبئة اذ انخفضت نسبة الكربون بالصلب بعد النفخ عن ٠.٠٨٪ بينما في حالة ايقاف الانفخ بمجرد النظر لا تتعدى نسبة الصببات التي لها نفس هذه النتائج عن ٣.٣٦٪

وبواسطة الخلية الكهروضوئية ترسل اشارة لامالة المحول في اللحظة التي يبلغ عندها التيار الكهربائي للخلية الكهروضوئية قيمته العظمى والتي تناظر على الرسم البياني ٠.٩-١.١٪ كربونا . وبهذه الطريقة ينخفض عدد الصببات التي تحتوى على نسبة منخفضة من الكربون الى ١٠.٥٪ أى الى أكثر من ثلاث مرات .

بامعان النظر فى شعلة اللهب المنبعثة من محول توماس أثناء فترة تأكسد الفوسفور نجد أن عند لحظة معينة تأخذ شفافية الشعلة فى التناقض حتى تصل الى حد أدنى ثم تزداد ثانية بحدة وتظل قصيرة وثابتة قبل نهاية النفخ كما هو ممدون بالمقطع المستقيم لشفافية اللهب .

عند بداية هذا المقطع تكون نسبة الفوسفور المناظرة ٠.٣ ر - ٠.٦ ر٪ وتتوقف على درجة الحرارة وبمثل شكل (٥٩) منحنيات الشفافية لشعلة



شكل (٥٩) : الخط البياني الذى يوضع تغير شفافية شعلة اللهب عند فوهة المحول

الذهب عند درجات الحرارة المنخفضة ( ١٥٨٢°م ) ، والعالية ( ١٦٤٥ درجة مئوية )

من الشكل نرى أن نقطة ب وهى الحد الأدنى للشفافية تناظر نسبة من الفوسفور فى الصلب لا تتعدى ٠.١٪ وتظهر هذه النقطة على الرسم البياني قبل نهاية النفخ بنصف دقيقة وبالوصول الى هذه النقطة يصبح من الممكن امالة المحلول وايقاف النفخ ( اذا كان دوران المحلول الى الوضع الأفقى بطيئا ) وباستمرار النفخ أكثر من ذلك تنخفض نسبة الفوسفور بالصلب انخفاضاً ضئيلاً بينما تزداد كمية الحديد المفقودة كثيراً . أما اذا أخذ المحلول وضعه الأفقى سريعاً فان نقطة ج تكون أكثر ملاءمة لانتهاء النفخ .

بايقاف النفخ عند نقطة ج فى وحدات صناعية مختلفة نحصل على صلب تختلف نسبة الفوسفور به من ٠.٢٥-٠.٣٥٪ عند درجة حرارة حتى ١٥٩٠ درجة مئوية ، ٠.٣٥-٠.٤٥ عند درجة حرارة من ١٥٩٠-١٦١٠ درجة مئوية ، ٠.٤٥-٠.٦٪ للصببات ذات درجة الحرارة العالية التى تزيد عن ١٦١٠ درجة مئوية . وتبلغ النسبة الحد الأقصى عندما تصل درجة حرارة الصلب الناتج الى درجة التسخين المفرط ( فوق ١٦٥٠ درجة مئوية ) .

وبسهولة يمكن تقدير درجة الحرارة أثناء النفخ من منحنى الشفافية لشعلة الذهب فكلما انخفضت درجة الحرارة كلما كان ميل المنحنى أكثر حدة قبل نقطة ج .

مما سبق يتضح لنا أنه بواسطة منحنى الشفافية تتحدد اللحظة التى ينحتم عندها ايقاف النفخ دون الرجوع الى طسعة الطريقة المستخدمة .

ب ولقد ظهرت طريقة لتحديد لحظة ايقاف النفخ واضافة المبردات بمعرفة كمية الأكسجين التى دخلت الى المحلول منذ بدء النفخ وتقدير الكمية المطلوبة لنفخ طن واحد من الحديد الزهر بالخبرة والحسابات فمثلا يلزم حوالى ٣م٢٤٠ من الهواء أو ٣م٥٠ من الأكسجين حتى قبل اعادة النفخ لتحويل طن واحد من الحديد من الحديد الزهر الذى يحتوى على ٣٨٪ ، ٢٥٪ ١٥٪ م ، ٢١٪ فو لكى نحصل على صلب بالتحاليل الآتية .

٠.٥٪ ك ، ١٥.٠٪ م ، ١٦٪ فو



وتحت نفس الظروف فانه يلزم حوالى ٧٥ م ٣ من الاكسجين طوال  
فترة النفخ

اذا كمية الهواء اللازمة لنفخ ٣٥ طنا من الحديد الزهر حتى قبل اعادة  
النفخ = ٢٤٠ × ٣٥ = ٨٤٠٠ م ٣

ومنه تحدد كمية الهواء المنفوخ عند أية لحظة من فترة ما قبل  
اعادة النفخ من ٨٤٠٠ م ٣ وعلى سبيل المثال :

حجم الهواء المنفوخ حتى قبل اعادة النفخ بزمن قدره « ن » دقيقة =  
ح = ٨٤٠٠ - أن

جبت : أ حجم الهواء الداخلى الى المحول فى الدقيقة م ٣

أما اذا كانت الشحنة أقل من ٣٥ طنا ، فان كمية الهواء المنفوخ تقل  
تبعا لذلك .

وقد نم رسم خطوط بيانية لتعيين اللحظة التى يتحتم عندها إيقاف  
النفخ وازضافة المبردات وعلى سبيل المثال : المطلوب تحديد اللحظة المناسبة  
قبل اعادة النفخ بدقيقتين لاضافة المبردات الى شحنة من الحديد الزهر  
وزنها ٣٠ طنا مع العلم بأن معدل استهلاك الهواء ٥٠٠ م ٣ / دقيقة ٠٠  
من الصعب أن نحدد هذه اللحظة باستمرار النفخ حيث أنها تعتمد على  
شدة النفخ وتستخدم هذه الخطوط البيانية لمعرفة حجم الأكسجين المنفوخ  
الى المحول قبل هذه اللحظة .

يرسم خط رأسى من الشكل الثانى على مقياس الزمن قبل اعادة النفخ  
فيقطع الخط المناظر لحجم النفخ الذى يساوى ٥٠٠ م ٣ / دقيقة فى نقطة  
ثم من هذه النقطة يؤخذ خط أفقى فيتقاطع مع الخط المناظر لشحنة المحول  
وهى ٣٠ طنا فى نقطة يكون مسقطها الأفقى هو حجم الاكسجين المنفوخ  
( الخط المنقط من الخطوط البيانية ) .

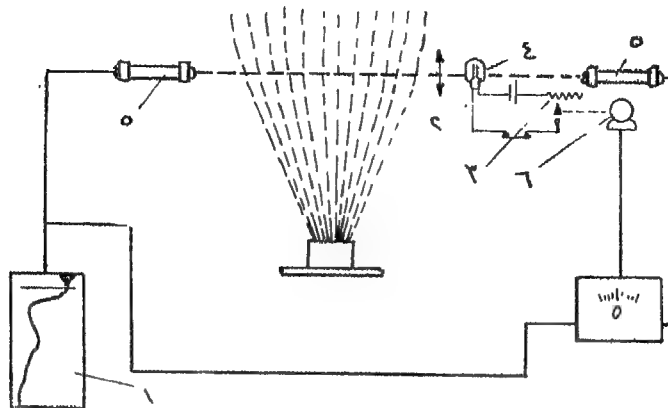
وعندما يبين مقياس التدفق حجم الاكسجين هذا تتبين لحظة الاضافات  
وتأتى لحظة التوقف عندما يبين مقياس التدفق الحجم المحدد الذى دخل  
المحول .

ويمكن اعداد مجموعة من هذه الخطوط البيانية بحيث تشمل التحاليل

الكيميائية المألوفة للحديد الزهر • وتصلح هذه الطريقة لآى نوع من أنواع النفخ •

وعند نفخ الحديد الزهر بالأكسجين من أعلا المحول يزود مقبّاس التدفق بجهاز لنعين كمية الأكسجين المستعملة منذ بدء النفخ عند أية لحظة •

وتتحدد لحظة التوقف من قراءات الجهاز واستهلاك الأكسجين اللازم لأكسدة ٠.٠١٪ ك • هناك طريقة أخرى لمراقبة الانصهار بمعرفة درجة حرارة الشعلة ويرى فى شكل (٦٠) تنظيم الأجهزة المستخدمة لقياس درجة حرارة الشعلة فتوضع لمبة قياسية مع بيرومتر ضوئى يضىء بهذه اللامبة فى ناحية من الشعلة ثم يوجه بيرومتر آخر إلى الشعلة فيستقبل الطاقة الضوئية المنبعثة من كل من الشعلة والللمبة مختزقة شعلة اللهب • فإذا كانت الطاقة الضوئية الكلية التى يستقبلها هذا البيرومتر مساوية للطاقة الضوئية التى يستقبلها البيرومتر الموجه إلى الللمبة العبارية كان ذلك دليلا على أن درجة حرارة الشعلة مساوية لدرجة حرارة فتيلة الللمة وعندما تتساوى قراءتا كلا البيرومترين يتحرك مؤشر الجلفانومتر المتصل بالمؤشر المناظر مشيرا إلى صفر التدريج •



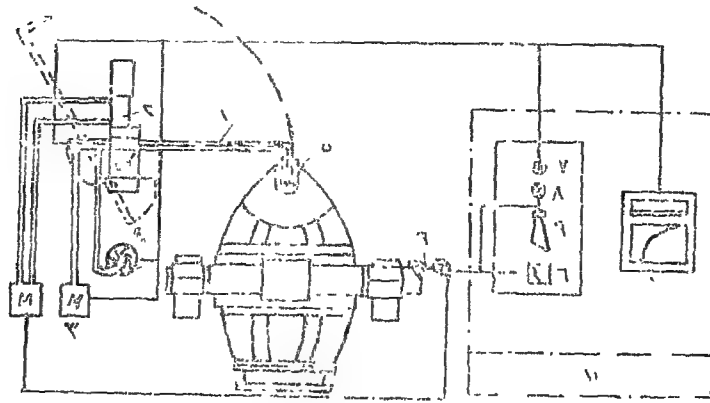
شكل (٦٠) : تنظيم لقياس درجة حرارة اللهب

- |                             |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| ١ - جهاز تسجيل درجة الحرارة | ٢ - الشبّية     |
| ٣ - ترموستات                | ٤ - لمبة عيارية |
| ٥ - بارومترات               | ٦ - موتور مؤازر |

أما إذا كانت الطاقة المستقبلية من الللمة أكبر أو أقل من الطاقة المستقبلية من الشعلة ومأخوذة منه بواسطة البيرومتر الآخر فإن المؤشر ينحرف عن الصفر الذى بدوره سوف يغير منزلق الترموستات بطريقة

أو بأخرى ٠٠ الامر الذى يؤدي الى زيادة أو نقص درجة حرارة الفتيلة حتى تتساوى الفراءان في كلا البيرومترين ويقوم جهاز تسجيل بتدوين درجة الحرارة التي حددت بهذه الطريقة ٠٠ ولقد وجد أن درجة حرارة الشعلة في محول توماس تكون أقل من درجة حرارة المعدن بثمانية درجات مئوية وذلك أثناء فترة ازالة العوسفور في نهاية النفخ وقد سغير درجة الحرارة هذه قليلا في المصانع المختلفة تبعا لظروف الانتاج ولكنها تبقى دائما ثابتة في معظم الأحوال اذا كانت الظروف واحدة في نفس المصنع .

من هذا نرى أنه يمكن تقدير درجة حرارة المعدن داخل المحول بمعرفة درجة حرارة الشعلة وهذه العملية لها أهمية بالغة في السيطرة على سير العملية أثناء النفخ وسلوك التفاعلات المختلفة داخل المحول . ويمثل شكل (٦١) احدى الوحدات حيث تقاس درجة المعدن في المحول مباشرة .



شكل (٦١) : يوضح رسما تخطيطيا لاحدى الوحدات المستخدمة لقياس درجة حرارة المعدن داخل المحول

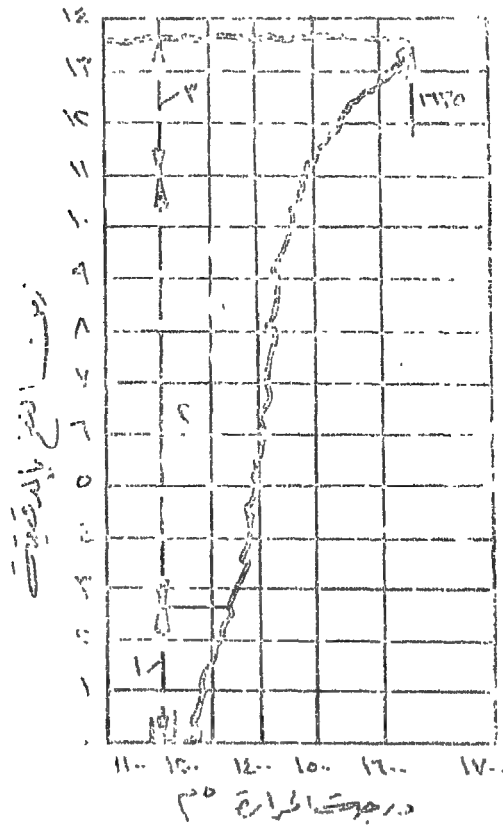
- |  |                     |
|--|---------------------|
| ١ - أنبوبة مرفقية                          | ٢ - جهاز اشارة      |
| ٣ - صمامات مغناطيسية على خط الهواء المضغوط |                     |
| ٤ - مضخة تدفع الماء لتبريد الأنبوبة        |                     |
| ٥ - بارومتر                                | ٦ - مفتاح كهربائي   |
| ٧ - ائلمبة الجهوراء                        | ٨ - الللمبة البيضاء |
| ٩ - صغارة                                  | ١٠ - مسجل           |
| ١١ - غرفة المراقبة                         |                     |

ولقياس درجة الحرارة يخفض البيرومتر الى الفوهة تحت منطفسة تكوين الشعلة وآليا تسحب الأنبوبة جانبا ولا تستغرق قياس درجة الحرارة

أكثر من ١٥ نادية وندون قراءات البيرومتر على جهاز تسجيل خاص ثم يرسم منحني لدرجات الحرارة كالمبين في شكل (٦٢) .

وبمقارنة درجات الحرارة المبينة بهذا المنحني بالقياسات التي يعطيها الازدواج الحرارى نجد أن الخطأ لا يتعدى ١٠ درجة مئوية .

وبهذه الطريقة تتمكن مثل هذه الوحدات من العمل مستقلة لمدة طويلة مع سهولة فى المراقبة كما سهّل تنظيم درجات الحرارة بإضافة السبائك المبردة أو التي ترفع درجة الحرارة حسب الحالة . ومن حسن الحظ فقد تم استنتاج تلاقات محددة تربط بين منحنيات الطيف لشعلة اللهب والتحليل الكيميائية للمعدن .



شكل (٦٢) : يبين الخط البياني لتغير الحرارة :

٢ - احتراق الكربون

١ - أكسدة السليكون

٣ - احتراق القوسفور

## صناعة الصلب فى المحولات الدوارة والأفران الانبوبية الدوارة

لقد كان الهدف من تطوير صناعة الصلب فى المحولات الى ما وصات اليه فى عصرنا الحديث هو الحصول على صلب يضارع فى جودته صلب الأفران المفتوحة ولكن كان لهذه الطرق بعض العيوب .

أحد هذه العيوب تصاعد كمية كبيرة من الأدخنة البنية اللون عند نفخ الحديد الزهر بالأكسجين وتحتاج تنقية هذه الأدخنة الى أجهزة واستعدادات خاصة .

ويمثل القدر الضائع من الحديد كأكسيد حديد حوالى ١٪ يتصاعد مع الغازات الخارجة من المحول كما أنه نتيجة للتلامس المباشر بين تيساير الأكسجين والمعدن ترتفع درجة الحرارة موضعيا بشدة . ولعلل أنسم الصعوبات التى تصادفنا فى هذه الطريقة هى تحويل الحديد الزهر الثانى بالفوسفور الى صلب به نسبة منخفضة من الفوسفور بحيث يحتوى على أقل نسبة من النتروجين .

كما أنه من الصعوبة البالغة نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على فوسفور من ٠.٥ - ١.٠٪ بطريقة توماس المعتادة .

واليوم أصبحت الطرق الأكثر شيوعا فى التطبيق فى صناعة الصلب هى التى تضمن النقاط التالية :

( أ ) انتاج صلب يضاهى صلب الأفران المفتوحة فى خواصه الميكانيكية والعملية .

(ب) التمكن من نفخ الحديد الزهر مهما كانت تحاليله الكيميائية .

(ج) انتاج صلبات بأوزان كبيرة .

(د) تلافى تصاعد الأدخنة بكميات كبيرة .

(هـ) أن تكون الطريقة اقتصادية .

ولقد أمكن تحقيق معظم هذه الشروط بواسطة التطورات الحديثة  
فى طرق نفخ الحديد الزهر بالأكسجين فى الوحدات الدوارة .

### ١ - نفخ الحديد الزهر فى محول دوار

ظهرت هذه الطريقة الى الوجود الصناعى فى بلاد السويد ولقد كان  
من دواعى ظهورها الاعتقاد بعدم تعرض الحديد الزهر فى المحول النابت  
للخلل الكافى مهما كان ضغط تيار الأكسجين مرتفعاً مما يؤدى الى ارتفاع  
درجة حرارة المعدن موضعياً فى منطقة التفاعلات فيتبخر جزء من الحديد  
ويضبع مع الغازات المتصاعدة كأبخرة بنية .

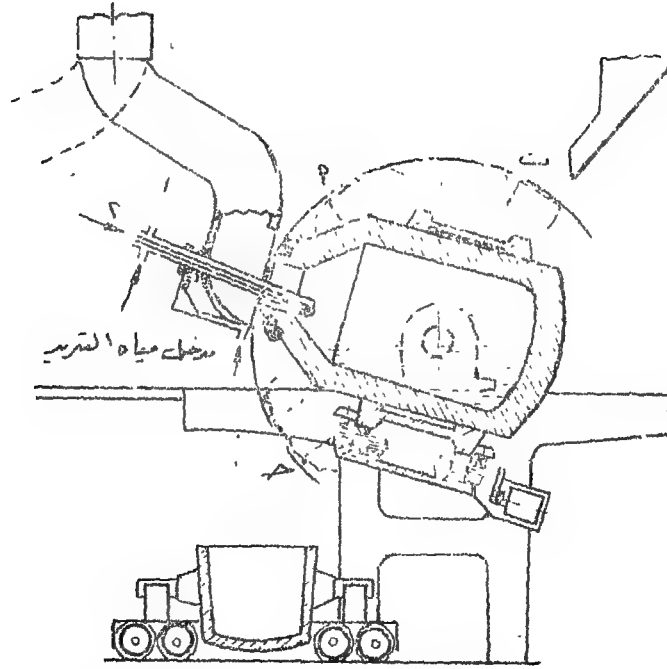
كما يضيع جزء آخر من الحديد فى الخبث عند نفخ الحديد الزهر  
الذى يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور وتنحصر الخطوط العريضة  
لهذه الطريقة أنه يمكن للمعدن أن يختلط اختلاطاً فعالاً مع دوران المحول  
بغض النظر عن ضغط الأكسجين وبالخلط السليم نتلافى وصول بعض  
أجزاء المعدن الى درجة التسخين المفرط وما يتبع ذلك من تكون الأبخرة  
البنية .

وبتغيير سرعة دوران المحول وطريقة نفخ الأكسجين نتمكن من تنظيم  
العملية والسيطرة عليها . ونرى فى شكل ( ٦٣ ) شكلاً لأحد المحولات  
الدوارة سعة ٣٠ طناً ويتمكن المحول من الدوران حول محوره الأفقى مرتكزاً  
على مرتكز دورانى لشحنه بالحديد الزهر وخلافه وكذلك لصب الصلب  
والجيت أثناء النفخ ويأخذ المحول وضعاً مائلاً بحيث يصنع زاوية بين  
١٥ - ٢٠ درجة مع الأفقى .

ويدفع الأكسجين الى سطح المعدن خلال فوهة المحول بواسطة  
أنبوبة تبرد مائياً ( بواسطة الماء ) وتميل ٨-٢٥ درجة على الأفقى ويدور  
المحول حول محوره الطولى أثناء النفخ بمعدل ثلاثين دورة فى الدقيقة .

يستخدم طوب الدولوميت المقطرن فى صنع بطانة هذا المحول وتغيير  
هذه البطانة بعد خمسين صبة ولقد وجد حالياً أن هذا الرقم يمكن أن يرتفع  
الى الضعف أو الى ثلاثة أضعاف باستعمال طوب المجنزيت .

يمكن سحب المحول بعيداً عن جهاز الدوران ويحل آخر بعمله  
ويفضل أن يكون هناك جهازان للدوران الآلى مع ثلاثة محولات بحيث يعمل  
اثنا عشر منهما ويكون الآخر بعيداً عن العمل لأغراض تغيير البطانة وخلافه .



شكل (٣٦) : بين معولا دوارا سعة ٣٠ طنا لتفخ الحديد الزهر بالاكسجين الخالص  
وفي الشكل نرى وضع المحول في الحالات الآتية :

(أ) عند شحن الحديد الزهر (ب) لاصافة شحن الحام والمير  
(ج) أنبوبة قابلة للدوران لسحب الغازات

١ - أنبوبة قابلة للدوران لسحب الغازات ٢ - فضاة دفع الاكسجين

من المستحسن أن يحتوى الحديد الزهر المستخدم في المحولات الدوارة  
على التحاليل الآتية :-

٢ ر ٣-٠ و ٠	سليكون
٨ ر ١-٢٠٠ و ٢	فوسفور
٣ ر ٥	كربون
٠ ر ١	فاناديوم
٠ ر ٥-٠٠٦ و ٠	كبريت
٥ ر ٧ و ٠	منجنيز

واذا احتوى الحديد الزهر على نسبة عالية من السليكون فانه يفضل  
في هذه نفخة بالاكسجين في البودقة حتى تنخفض نسبة السليكون  
به ثم يشحن في المحول بعد ذلك .

وكفاعةة يستخدم فى اغراض التبريد خام الحديد أو الركام ( الكتلة )  
الحر يحتوى على ٥٥٪ منه حديد كما نستعمل الحردة أيضا فى هذا الصدد  
وعندما يتم التبريد بواسطة خام الحديد يفرد فانه يضاف بمعدل ١٢-١٤ ،  
اما اذا انبثقت الحردة فقط بدلا من خام الحديد فان استهلاكها يصل نظريا  
الى ٤٠٪ بينما لا تزيد فى الواقع عمليا عن ١٥-٢٠٪ ويجب أن تكون هذه  
الحردة سميكة الاحجام فالكبيرة منها قد لا ننصهر نهائيا .

ويسمى نسيج الحديد الزهر الفوسفورى من ٣٥-٤٠ دقيقة اذا كانت  
درجة نقاوة الاكسجين ٩٧٪ ومعدل تدفقه من ٦٥ - ٣٧١ م<sup>٣</sup>/طن من  
الحديد الزهر . والحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من  
الفوسفور لا يستغرق وقتا طويلا فى النفخ فتتخفض مدة النفخ الى  
٢٥ دقيقة .

ويمكن أيضا اختزال زمن النفخ كثيرا باستعمال الحثب المتخلف  
عن الشحنة السابقة ( اذ يمثل الجير الجزء الأعظم من هذا الحثب كما يحتوى  
أيضا على كمية من أكاسيد الحديد وقليل من الفوسفور ) وبإضافة بعض  
الجير الناعم والحام « الحردة » الركام أثناء النفخ دون امالة المحول .  
ويجرى النفخ على النحو التالى :-

الفترة الأولى قبل ازالة الحثب وتستمر لمدة ٢٠-٣٠ دقيقة ينخفض  
معدل الكربون الى ٢٪ والفوسفور الى ٠.٢٪ ثم يزال سريعا ويحتوى  
هذا الحثب على ٢٢٪ منه فوسفور ٢ أ ٢٠ ولا تزيد نسبة الحديد به عن ٣-٤٪  
وترتفع درجة الحرارة الى ١٥٥٠-١٦٠٠ درجة مئوية .

ويكفل لنا أكسدة الحديد مبكرا فى أول مراحل النفخ وخلط المعدن  
جيدا نتيجة لدوران المحول ، خبنا ذا فاعلية كبيرة وسرعة فى ازالة  
الفوسفور .

عندما يستخدم المحول المألوف ( العادى ) فى نفخ الحديد الزهر الذى  
يحتوى على أكثر من ٢.٠٪ فوسفورا ، بالأكسجين الحالى فان الحثب  
الحديدى يسبب أكسدة الكربون بشدة وبتصاعد تبعا لذلك كبر من أول  
أكسدة الكربون فيزداد تنثر الحديد خارج المحول وتنتج لنا نفخ الحديد  
الزهر فى المحول الدوار فرصة تنظيم معدل تأكسد الكربون بدقة مع  
ازالة الفوسفور .

ثم يقل دفع الاكسجين فيزداد دوران المحول لحظيا حتى يقل معدل  
تأكسد الكربون فتزداد أكاسيد الحديد فى الحثب تبعا لذلك ٠٠ الأمر الذى  
يقودنا الى الاسراع من معدل أكسدة الفوسفور وبالعكس فاذا كانت درجة



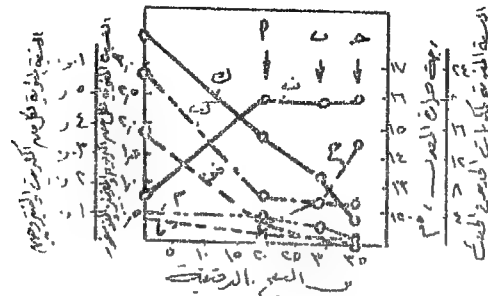
الحرارة منخفضة فانه يجب أن يزداد دفع الأكسجين ونعل سرعة دوران المحول فيرتفع معدل تأكسد الكربون وتزداد الحرارة بينما نقل أكاسيد الحديد بالخبث .

وبمعرفة معدل دفع الأكسجين ودرجة حرارة الغازات المنبعثة عند فوهة المحلول مقبسة بالبيرومتر المعتاد يمكن تنظيم درجة الحرارة والسيطرة على العملية .

وفي داخل المحول يحترق جزء كبير من أول أكسيد الكربون وعندئذ يزداد معدل تأكسد الكربون فيتصاعد تبعاً لذلك أول أكسيد الكربون بغزارة وتفقد كمية هائلة من الحرارة معها .

وتدوم الفترة الثانية عشرة دقائق يزال بعدها الخبث الذي يحتوى على ١٧٪ فوسفور و ٦٪ حديد وفي هذه الحالة يحتوى المعدن داخل المحلول على حوالى ١٪ كربون وعندئذ تبدأ فترة النفخ اللاحق حتى تصل نسبة الكربون بالصلب الى النسبة المنشودة ( دون اتباعها بعملية الكربنة ) .

ويستغل الخبث الناتج من كلا الفترتين كسماد للأرض الزراعية ويعطينا شكل (٦٤) صورة للسلوك النمطي الذي تسلكه الشوائب أثناء تأكسدها منذ نفخ الحديد الزهر الفوسفورى بالأكسجين الحاصل فى المحول الدوار تحت الظروف الآتية :



شكل (٦٤) : يمثل أكسدة الشوائب أثناء نفخ الحديد الزهر بالأكسجين فى محلول دوار :

ب - إزالة الخبث الثانوى

أ - إزالة الخبث الاصلى

ج - الصلب المنصهر

وزن الحديد الزهر ٣٠ طناً - تركيب الحديد الزهر ٣٥٤٪ كربون ، ١٢٪ سليكون ، ٠٤٩٪ منجنيز ، ١٨٤٪ فوسفور ، ٠٥٨٪ كبريتا ، معدل استهلاك الجير ١٣٨٪ والحام ١١٩٪ من وزن الحديد الزهر معدل دفع الأكسجين ٣٦٥ / طن من المعدن .

يتأكسد الفوسفور في نفس الوقت مع الكربون ولهذا فإنه عندما يصل نسبة الكربون الى ٠.٥٪ تصبح نسبة الفوسفور ضئيلة للغاية وعند نقطة ج يكون تركيب الصلب هو : ٠.١٨ ر / فوسفور ٠.١٣ ر٪ كبريتا ، ٠.٠٢ ر٪ نتروجينا وبالرغم من انخفاض نسبة المنجنيز في الحديد الزهر فان درجة ازالة الكبريت عالية اذ بلغت ٩٧.٥٪ ويرجع هذا الى سرعة تكوين الحبت دى الفاعلية الكبيرة وأساسا بالخلط الجيد الذى له أكبر الأثر فى ازالة الكبريت من الصلب .

وعند صناعة الصلب من الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور مع نسبة عالية من الكبريت يزال الحبت مبكرا بعد بدء النفخ بخمس الى عشر دقائق .

فى حالة ما اذا احتوى الحديد الزهر على فوسفور حتى ١.٨٪ يمكن الحصول على صلب منخفض الفوسفور بازالة الحبت مرة واحدة بدلا من مرتين وبذلك تختصر خطوات العمل باستخدام خام الحديد كعامل مبرد فان التركيب الكيميائى للصلب الناتج عندما يكون وشبكا للصب من المحول :

ك	٠.٣٥ ر٪
م	٠.٩٤ ر٪
فو	٠.٢٢ ر٪
كب	٠.١٥ ر٪
ن ٢	٠.٠٢ ر٪

وتتغير نسبة المنجنيز ، من ٠.٦ ر- ١.٨ ر٪ متوسط معدل دفع الأكسجين هو ٣.٦٩ طن ويضاف الخام بمعدل ١.١٥ ر٪ والجير بمعدل ١.٤ ر٪ من وزن الصلب وكانت درجة حرارة الصلب عند صبه ١٦٤٠ درجة مئوية وهذا الصلب الناتج لا يقل بأى حال من الأحوال عن صلب الافران المفتوحة وهو يستعمل فى صنع ألواح السفن والصفائح المستخدمة لأغراض التشكيل المختلفة كالثنى والسحب .

وتصل الكفاءة الانتاجية للصلب الناتج ٩٢٪ من وزن الحديد الزهر المشحون وقد تصل هذه النسبة الى ١٠٠٪ باضافة خام الحديد من أجل التبريد .

وفى هذه الطريقة تنخفض كثيرا كمية الحديد الضائعة مع الغازات المنبعثة من المحول عنها عن طريقة النفخ العلوية بالأكسجين فى المحول الثابت ويعزى هذا الى تماثل درجات الحرارة فى جميع أجزاء الشحنة دون

الارتفاع الشديد فى أحد المواضع بها ولهذا فاننا لانرى هناك حاجة الى  
اجهزة خاصة لتنقية الغازات .

ويستهلك الطن من الصلب الناتج حوالى ٢٠ كجم من الدولوميت  
ويمكن تلخيص اجمالى مميزات هذه الطريقة فيما يلى :-

١ - ارتفاع الكفاءة الانتاجية للصلب الناتج لاستغلال كمية كبيرة  
من حام الحديد اذ أن احتراق أول أكسيد الكربون داخل المحول يرفع من  
درجة حرارته كثيرا .

٢ - يمكن انتاج الصلب متوسط الكربون من الحديد الزهر  
الفوسفورى بإيقاف النفخ عندما تصل نسبة الكربون الى حد معين دون اعادة  
النفخ ثم تتبع ذلك بعملية الكربنة .

٣ - ازالة الكبريت بدرجة كبيرة .

٤ - انخفاض نسبة النتروجين بالصلب حين تبلغ نقاوة الأكسجين  
الذى ينفخ بالمحول ٩٧ / .

٥ - سهولة ضبط معدل تأكسد الكربون وذلك بتغيير سرعة دوران  
المحول .

٦ - انخفاض كمية الحديد الضائعة مع الغازات وفى الجبث ولهذا  
فأنه لا داعى لاستعمال أجهزة التنقية .

٧ - امكانية امرار الحديد الزهر بمراحل تصنيع نالية فى الفرن  
الكهربائى أو الفرن المفتوح .

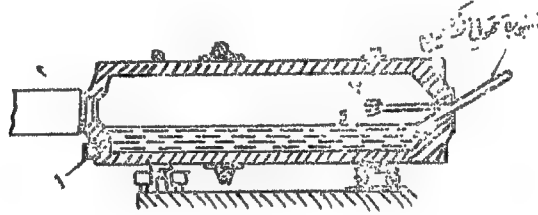
٨ - يمكن زيادة سعة المحولات الدوارة حتى ١٠٠ طن وأكثر .

## ٢ - صناعة الصلب فى الأفران الأنبوبية الدوارة

بعد عدد من التجارب تم التوصل بنجاح الى صنع الصلب فى  
أفران أنبوبية دوارة وعند اصطدام تيار الأكسجين بمصهور المعدن ترتفع  
درجة الحرارة بشدة فى منطقة الاصطدام ولكن بدوران الفرن نتلقى تأثير  
الارتفاع الموضعى فى درجة الحرارة على بطانة الفرن اذ تغير البطانة  
موضعها بانظام فتكون تارة بمثابة قاع وتارة أخرى سقفا ولهذا فان  
تآكل البطانة يكون أكثر انتظاما وبذلك تطول عمرا .

الى جانب هذا فان التقلب الشديد أثناء الدوران ليساعد كثيرا على  
أكسدة الشوائب وازالة الكبريت .

ونرى فى شكل ( ٦٥ ) رسما لفرن دوار سعة ٦٠ طنا وطول هذا الفرن ١٤ر٦ مترا وقطره الداخلى ٢ر٧ والخارجى ٣ر٧ منرا .



شكل ( ٦٥ ) : يبين فرن الروتور الذى يسع ٦٠ طنا

- |                 |                  |
|-----------------|------------------|
| ١ - فتحة الصب   | ٢ - غازات العادم |
| ٣ - فوثة نانوية | ٤ - فوثة أصلية   |

ويبطن هذا الفرن بطبقتين من الطوب الحرارى احدهما ملاصقه بهيكله وتقوم بحمايته وتصنع من طوب المجنزيت وسمكها ١٢٠ مم أما الطبقة الأخرى المعرضة للمعدن فتكون دكا من خليط الدولوميت المقطرن وسمكها ٣٨٠ مم .

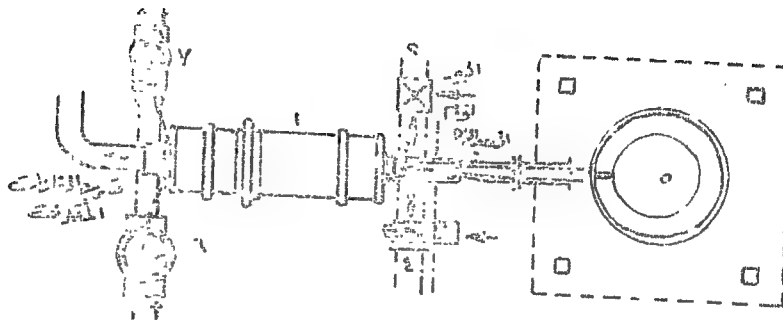
وبالفرن فتحتان أحدهما أمامية لشحن الحديد الزهر واضافه الاضافات ونفخ الاكسجين والأخرى خلفية لتصريف الحبت والغازات المتكونة .

ويدور الفرن مبتدءا بمعدل ٠.١ - ٠.٥ دورة/دقيقة ويتدفق الأكسجين الى الفرن فى نيارين نفائين ( الأكسجين الأساسى والنانوى ) ، ويمكن دفع الأكسجين الأساسى الى المعدن خلال أنبوبة تبرد بالماء فى نهايتها فوهة لتركيز النفخ على المعدن وأكسدة الشوائب وتقلب المعدن ويدفع الأكسجين النانوى فوق سطح المعدن حتى يحترق أول أكسيد الكربون الناتج عن أكسدة الكربون ومن هذه الحرارة المتكونة يمتص المعدن حوالى ٦٠٪ فقط .

وتوضع المدخنة على الجانب المقابل لفتحة نمويل الأكسجين لتندفع الغازات المتكونة خلالها ولهذا فان سحب الغازات والدخان يكون أيسر بكثير عن المحولات .

كما أن تنقية الغازات ليست بالعملية الصعبة . وتطبق الخطوات الآتية عند العمل فى الأفران الدوارة : ( شكل ٦٦ ) .

يقوم جهاز متحرك بشحن الفرن بالجبر والخام والنفايات المعدنة خلال الفتحة الأمامية ثم يدفع الجهاز جانبا ويضبط المسقط المائل



شكل (٦٦) : الأفران الدوارة

- ١ - الثرن
- ٢ - جهاز شحن الخام والجبر الى الفرن
- ٣ - مسقط متحرك لتسحب الحديد الزهر
- ٤ - عربة لتخليص ودنات الأكسجين
- ٥ - الفرن العالى
- ٦ - بودقة صب الصلب
- ٧ - أواني الخبث

المنحرك وينم سحن الحديد الزهر من الفرن العالى الى هذا الفرن الدوار الذى يسع ٦٠ طنا بعد ذلك يبعد المسقط المائل ثم تتحرك عربة تحمل أنابيب أكسجين الى فتحة الشحن ثم تتركب أنابيب الأكسجين على عرقات خاصة وتولج فى الفرن الدوار بواسطة موتور كهربائى وعندئذ يبدء الأكسجين فى التدفق .

بواسطة هذا الفرن يصبح بالإمكان تحويل الحديد الزهر الفوسفورى اما الى خام نصف مصنع يصلح لانتاج الأفران المفتوحة واما الى صلب جاهز للنشكيل .

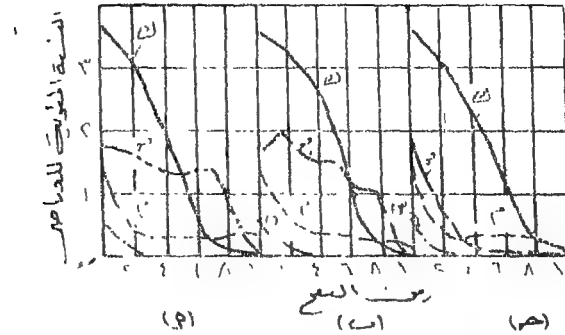
ففى الحالة الأولى يوفى النفخ بعد ٤٠ دقيقة حيث يحتوى المعدن على ١٪ كربونا وحوالى ٠.١٪ فوسفورا وعندئذ يزال معظم الخبث قبل صب المعدن من الفرن .

ونستخدم أجهزة اماله لازالة الخبث عند صناعة الصلب الجاهز للنشكيل . فى هذا الفرن يزال الخبث عندما يحتوى المعدن على حوالى ٢٪ كربونا وتكون نسبة الفوسفور حوالى ٠.١ - ٠.٢٪ ويحتوى هذا الخبث على نسبة من الحديد منخفضة نوعا ( ٨ - ١٢٪ ) ولكنه يحوى على نسبة عالية من خامس أكسيد الفوسفور ( ١٨ - ٢٠٪ ) ولهذا فهو يستخدم بعد معالجته كسماد للتربة الزراعية .

بعد أن يزال الخبث يتكون خبث جديد ويضبط بإضافة الجير وخام الحديد ثم يعاد النفخ ثانية حتى تصل نسبة الكربون الى النسبة المنشودة .

ويصب الصلب مع بقاء الخبث الحديد في الفرن ثم يخلط بخام الحديد والجير ويسعمل في الصبب النالية . وعند صب الصلب تفتح فتحة الصلب الخاصة عندما تكون في موضعها العلوى ويسسغرق صنع الصلب الجاهر للتشكيل ( أول التسحين حتى صب الصلب ) من الحديد الزهر الفوسفورى ساعتين منها ١٥ دقيقة نضع في سحن الجير وخام الحديد ، ١٠ - ١٥ دقيقة لشحن الحديد الزهر ، ٥٠ - ٦٠ دقيقة في النفخ وإزالة الخبث ، ١٠ دقائق لصب الصلب ٠٠ وأما ما يتبقى من الفرن فيضبع في الأعطال الى تحدث بين الصبات وبعضها . وفى شكل ( ٦٧ ) نجد مقارنة لأكسدة الشوائب في الحديد الزهر عند النفخ اما بالهواء أو بخليط الهواء والاكسجين فى المحول ، وبنفخ الأكسجين فى الفرن الدوار يتضح أن فترة أكسدة الفوسفور قد تقدمت مرة أكسدة الكربون .

ويرجع هذا الى سرعة تكون خبث الحديد الجيرى ( الحبث الجيرى الغنى باكاسيد الحديد ) ويساعد اضافة خام الحديد بكميات كبيرة فى سرعة تكوين هذا الحبث كذلك فان الحرارة العالية التى تنسج عن احتراق أول أكسيد كربون فى الفرن تكون هى الأخرى لها نفس التأثير .



شكل ( ٦٧ ) : منحنيات تبين احتراق العناصر فى طرق النفخ المختلفة للحديد الزهر التوماسى :  
 ( أ ) طريقة النفخ بالهواء ( ب ) طريقة النفخ بالهواء المزود بالاكسجين  
 ( ج ) الفرن الدوار

ويمتاز الصلب الناتج بهذه الطريقة بانخفاض نسبة الفوسفور به فلا تتعدى ٠.٣٪ اذ لا يختزل أى كمية من الفوسفور الموجود فى الحبث ويعود الى المعدن .

ويتوقف معدل النفخ على معدل تدفق تيار الأكسجين الأساسى وضبطه وكذلك على معدل استهلاك خام الحديد .

وعندما يتأكسده الكربون بمعدل كبير يتكون غار أول أكسيد الكربون بكميات ضخمة ويتضاعف بغزارة مما يؤدي الى انبعاث كل المعدن المنصهر والخبث وقد يصطدم تيار الأكسجين النانوى بهما ويشترك هو الآخر فى عمليات الأكسدة المختلفة .

ومن حسن الحظ أنه عند صناعة الصلب فى الفرن الدوار يزال الكبريت لدرجة كبيرة تفوق أية طريقة فاعدية أخرى لصناعة الصلب اذ تنفرد هذه الطريقة باحتراق الكبريت جزئيا الى ثانى أكسيد الكبريت حيث تكون درجة حرارة الخبث عالية . ومن تحليل الغازات المتصاعدة من المحول يمكن القول بأن ١٥٪ من الكبريت قد أزيل فى صورة غاز ثانى أكسيد الكبريت .

ويحتوى الصلب المصنوع فى الفرن الدوار على حوالى ٠.٠٠٤٪ من النتروجين عندما تكون درجة نقاوة الأكسجين ٩٥٪ .

### ٣ - الموازنة المادية والحرارية فى صناعة الصلب بطريقة الفرن الدوار :

- للسهولة تعتبر الحسابات لطن واحد من الصلب النابج .
- الموازنة المادية لطن واحد من الصلب مبينة فى جدول ٤٧ .

بعزى انخفاض كمية الحديد الزهر اللازمه لصنع طن واحد من الصلب الى اختزال الحديد فى كمية الخام الوفيرة التى تضاف الى الشحنة والى انخفاض كمية الحديد الضائعة .

جدول ( ٤٧ )

المواد الداخلة	كجم	المواد الناتجة	كجم
الحديد الزهر الفوسفورى	١٩٧	صلب	١٠٠٠
جير	١٢٥	خبث	٢١٠
خام حديد	١٥٥	غازات منصاعدة	٢٠٠
أكسجين	٩٠	غبار	١٥
نتروجين	٢٠		
خردة	٣٨		
المجموع الكلى	١٤٢٥	المجموع	١٤٢٥

ويصل المعدل الكلى لنفخ الأكسجين لكل طن من الصلب إلى ٣م٩٠  
يستهلك حوالى ثلثه فى حرق أول أكسيد الكربون .

وتكون نقاوة نيار الأكسجين الثانوى ٧٠ - ٩٠ / واذن شاحن عمال  
الأكسجين الثانوى فى مسترجع الحرارة فانه من الممكن استعمال  
الأكسجين بدرجة نقاوة أقل حتى اذا ما وصلت درجة حرارته بالتسخين  
إلى ٨٠٠ - ١٠٠٠ م فانه يمكن استبدال الأكسجين الإضافى بالهواء .

ويجب أن يقل غاز الأكسجين المنفوخ بكمية معادلة للأكسجين  
المستفاد به من خام الحديد . وعلى وجه التقريب فان كمية الأكسجين  
الموجودة بخام الهيماتيت المضاف ( ح ٢ أ ٣ ) والذى يحتوى على الحديد  
بنسبة ٥٠٪ وبتقدير أن ٨٠٪ من الأكسجين هو الذى يستفاد به :

$$٣م٢٧ = \frac{٣م٢٧ = ٨ \times ٤٨ \times ١٦٠ \times ٠.٥}{١٦٠ \times ١١٢}$$

حيث :

$$\frac{١٦٠}{١١٢} : \text{نسبة تحول الحديد الى ح ٢ أ ٢}$$

$$\frac{٤٨}{١٦٠} : \text{كمية الأكسجين الموجودة فى ١ كجم من ح ٣ أ ٣}$$

إذا : وزن الأكسجين الباقى = ٩٠ - ٢٧ = ٦٣م٣ / طن .

وهذه هى الكمية التى تدخل الفرن على الهيئه الغازية وتقدر النسبة  
النى ينفع بها من غاز الأكسجين بحوالى ٩٠٪ أى أن معدل نفخه لكل طن  
من الصلب = ٧٠م٣ .

ويلزم لانتاج طن الصلب من الحديد الزهر الفوسفورى ١٢٥ كجم  
من الجير وتقل هذه الكمية حتى تصبح ٢٠ كجم لكل طن اذا كان حديد  
زهر الأفران المفتوحة يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور .

وقد يستخدم الحجر الجيرى الناعم بدلا من أكسيد الكالسيوم وفى  
هذه الحالة نحتاج الى كمية من الحرارة اللازمة لتحليل الحجر الجيرى  
ولذلك يجب علينا أن نقلل من كمية خام الحديد المضافة مما يؤدى الى  
نقص الكفاية الانتاجية للصلب الناتج .

وبمقارنة الموازنة المادية فى الطرق المختلفة لصناعة الصلب من  
الحديد الزهر الفوسفورى :



(أ) بنفخه بالهواء فقط •

(ب) بنفخه بالهواء المزود بالأكسجين حتى ٣٠٪ •

(ج) بنفخه في الأفران الدوارة •

نجد أن كمية الحديد الضائعة في القرن الدوار تعادل ٢٢٪ بينما  
في طريقة النفخ السفلية بالهواء تساوى ٣٤٪ ولا تقل عن ٤٧٪ عند  
نفخه بالهواء المزود بالأكسجين •

وفي جدول ٤٨ بيان للاستهلاكات الحرارية في الطرق المختلفة  
لتصنيع الحديد الزهر الفوسفورى ( % ) •

جول ( ٤٨ )

الفرن الدوار	طريقة ( توماس ) لتنفخ بالهواء المزود بالأكسجين $\frac{30}{\%}$	طريقة النفخ السفلية بالهواء ( توماس )	الغرض الذي تبذل فيه الحرارة
١١ر٤ $\times \times (١٣٠٠)$ ١١ر٤	١٣ر٣٥ $\times (١٢٥٠)$ ١١ر١	١٤ر٥ $(٥١٢٥٠ م)$ ١٠ر٧	كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة الحرارة الى ٥١٦٥٠ كمية الحرارة اللازمة لتسخين الجير كمية الحرارة اللازمة لتسخين الأكسجين الى ٥١٦٥٠ م كمية الحرارة اللازمة لاختزال خسام الحديد أو لصهر الخرودة كمية الحرارة المفقودة مع الغازات المتصاعدة عند ٥١٤٥٠ م حرارة أول أكسيد الكربون غير المحترق الحرارة المفقودة بالإشعاع وغيره $\times$ بعد النفخ المبدئي $\times$ مباشرة من الفرن العالي
٦ر٥	٥ر٩	٥ر٣٤	
٤٦ر٣ ( ١٠١ كجم من خام الحديد )	١٢ر٦ ( ٣٠ كجم من خام الحديد )	٣ر٠٥ ( ٤٦ كجم حرده )	
٥ر٧	١٣ر٣٥	١٩ر١	
٤ر١	٣٤ر١	٣٧ر٤	
١٤ر٦	٩ر٦	٩ر٢	

فى طريقة الفرن الدوار تبذل الحرارة التى ينفخ بها الأكسجين ( لتسخين الحديد الزهر ) ، والجبر لصهر الخردة وأيضاً لاختزال خام الحديد بنسبة ٧٥٦٪ بينما لا تتعدى هذه النسبة فى طريقتى توماس وبسمر ٣٣٦ ، ٤٣٪ على الترتيب .

### جودة الصلب المصنوع فى الفرن الدوار

تصنع أنواع الصلب التى تحتوى على ٠٥ - ٢٥٪ كربوناً فى الأفران الدوارة ويمكن أيضاً إنتاج أنواع الصلب التى تحتوى على نسبة من الكربون أعلى من هذه النسبة وبهذا يمكن نقطة الاحتياج (سد الحاجة) من الصلب الانشائى والألواح اللازمة لبناء السفن والغلايات وكذلك الصلب الذى يدخل فى صناعة الأسلاك الفولاذية وألواح الصاج والقضبان .

ويمتاز الصلب المصنوع بهذه الطريقة بانخفاض نسبة الفوسفور والكبريت والأكسجين فمثلاً لا تتعدى نسبة الأكسجين به ٠٠٥ - ٠١٥٪ كما فى صلب الأفران المفتوحة .

ومن ناحية التحمل للصدمات فلا يقل الصلب المصنوع فى الفرن الدوار عن منتجات الأفران المفتوحة بأى حال من الأحوال .

### المؤشرات الفنية والاقتصادية لطريقة الفرن الدوار

يستهلك الطن من الصلب المنصهر حوالى ٥٠ كجم من الدولوميت ويمكن خفض هذا المعدل الى ٣٠ كجم/طن ولا يزيد الاستهلاك من الحرارة للأغراض الأخرى عن ١ كجم/طن .

وباستعمال الفرن الدوار سعة ٦٠ طناً يمكننا الحصول على ٢٠٠٠٠ طن من الصلب شهرياً وتقدر السعة اليومية لفرن دوار يسع ١٠٠ طناً من : ١٠٠٠ - ١٢٠٠ طناً .

## الفصل الثامن

### طريقة الصب المستمر لانتاج الصلب

يرجع الفضل في اكتشاف طريقة الصب المستمر لانتاج الكتل مباشرة من الصلب الى بسمر وكان ذلك عام ١٨٥٧ حين حاول امرار تيار من الصلب المنصهر خلال درافيل يبرد بالمياه في ماكينة درفلة الألواح الفولاذية حيث تطوى هذه الدرافيل بجلب تمنع تسرب الصلب المنصهر بين محاورها .

هذا ولا تزال الجهود المفضنة مستمرة حتى يومنا هذا بصدد تطوير طريقة التشكيل بالدرفلة بحيث لا تستخدم كتلا من الصلب المتجمد لهذا الغرض ولكن للأسف تقابلنا في التطبيق صناعيا بعض الصعوبات الأساسية مثل :

- ١ - الحاجة المستمرة لاستبدال الدرافيل نتيجة لتآكل سطحها .
- ٢ - صعوبة السيطرة على العملية .
- ٣ - انخفاض جودة وسلامة السطح النهائي للألواح الناتجة .

ولما جاءت المحاولات في هذا السبيل مخيبة للآمال في بداية هذا القرن اتجه التفكير الى انتاج قطاعات نصف مصنعة بدلا من القطاعات نهائية التشكيل وذلك بطريقة مستمرة لعملية الصب وتشمل القطاعات نصف المصنعة ، والكتل المدرفلة المعدة لعملبات تشكيل لاحقة للألواح .

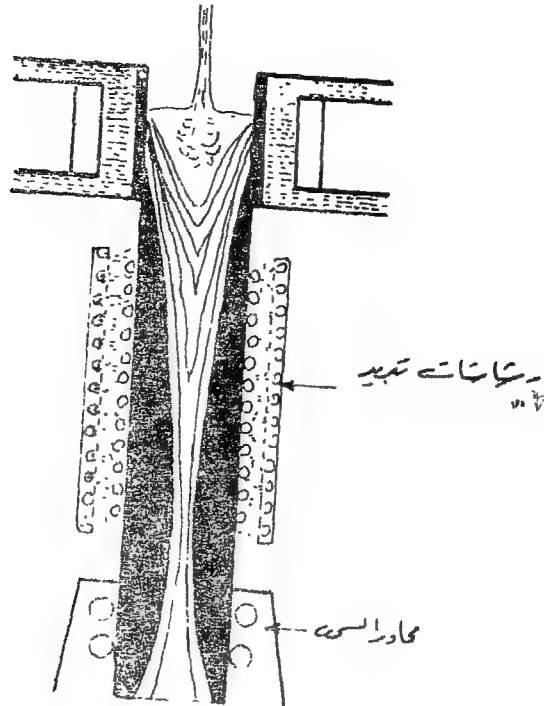
ولقد ظهر الصب المستمر في ميدان البحث في كل من الاتحاد السوفيتي عام ١٩٠٥ وألمانيا عام ١٩٠٩ بطرق متعددة ، ولكنها لم تدخل الى حيز التطبيق في المجال الصناعي لصب الفلزات غير الحديدية بطريقة مستمرة حتى عام ١٩٤٠ ، ثم سارت الجهود بعد ذلك قدما بحماس منقطع النظير ووضعت في خدمتها كل الخبرات السابقة في هذا المجال حتى كملت بالنجاح وذلل الجزء الأكبر من الصعوبات التي تواجه عملية الصب المستمر للصلب المنصهر ، ولقد ارتبط الباحثون بعضهم ببعض في منظمات علمية كما ارتبطت هذه المنظمات هي الأخرى بعضها ببعض خدمة لهذا

الهدف حتى توصل البحث الى تعديلات ناجحة ومفيدة وانبثق عن هذه الأبحاث ثلاثة أنواع أساسية لهذه الطريقة :

- طرق ثلاث عمليات الانتاج الصخيم بأطنان وفيرة .
- طرق مناسبة للصب السريع .
- طرق قليلة وفادرة تستخدم لأغراض معينة في مصانع خاصة لذلك .

#### مبادئ الصب المستمر لانتاج الصلب

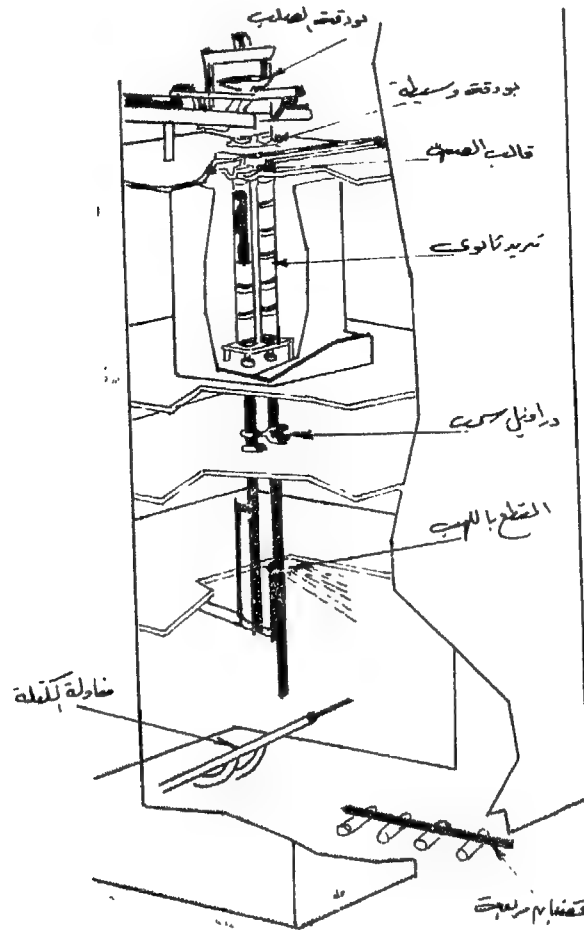
تقوم طريقة الصب المستمرة للصلب المنصهر أساسا على استخدام قوالب محملة رأسيا وتبرد بواسطة تيار من المياه الجارية وبصب الصلب المنصهر من أعلا القالب نحصل على قطاع متصل ومستمر من الصلب المصبوب عند نهايته وإذا فحصنا هذا القطاع المتصل وجدناه مكونا من قلب من الصلب لا يزال في حالة الانصهار مغلفا بغلاف (قشرة) من الصلب المتجمد له نفس شكل القالب .



شكلي (٦٨)

وفى الوقت الحاضر لا يبلغ سمك الغلاف الساخن لدرجة الاحمرار فى جميع طرق الصب المستمر تقريبا عند النقطة التى يغادر فيها القطاع الفولاذى نهاية القالب بوصة طويلة وقد يصل هذا السمك فى القطاعات الخفيفة ( ذات مساحة مقاطع صغيرة ) والتى تنتج بواسطة الماكينات ذات السرعة العالية الى أقل من البوصة •

ويتحرك القطاع الناتج أسفل القالب خلال منطقة تبريد ثانوية حيث يتم تجمده كلية ويتم التبريد جزئيا بواسطة الاشعاع للطاقة الحرارية التى يحملها وأساسا باندفاع الماء عليه رذاذاً ومن ثم يمر الى أسفل حيث تقابله درافيل سحب تدار آليا وتقوم بضبط معدل هبوطه وتوجهه الى أجهزة مختلفة الأشكال حيث يقطع الى الأطوال والمقاسات المطلوبة •



شكل (٦٩)

## القواعد العامة لانتاج الصلب بواسطة الصب المستمر

تختلف وحدات الصب المستمر اختلافا بينا فيما بينها فى التفاصيل ولكنها بصفة عامة تشترك جميعا فى سمات أساسية والنقاط الرئيسية المشتركة بين جميع الوحدات موضحة نخطيها أما ما يضاف بعد ذلك عادة فهو تزويد الوحدة بأجهزة ننحصر مهمتها فى توجيه القطاع الناتج ليأخذ اتجاها أفقيا قبل قطعه حتى يقل الحيز الطولى الذى نشغله الوحدة بقدر الامكان .

### استعمال المعدن الساخن :

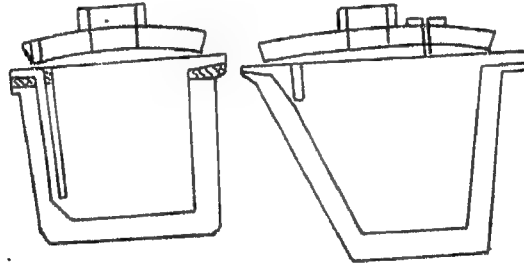
فى العادة يصب الصلب المنصهر من البونقه الى القالب حلال ( مع ) وفى الوقت الحالى ستستخدم ثلاثة أنواع من البوادر من مصانع الصلب التى تطبق طريقة الصب المستمر .

— بودقه للصب من أسفل تشتمل على فتحات حسب القواعد الصحيحة .

— بودقة ذات سيفون ( سعب ) فى جدارها الحرارى حيث يدمج بها أنبوبة حرارية لمرور ونقل الصلب المنصهر الى حافة الصب عند امالة البودقة .

— بودقة ذات حافة للصب ( ذات شفة ) .

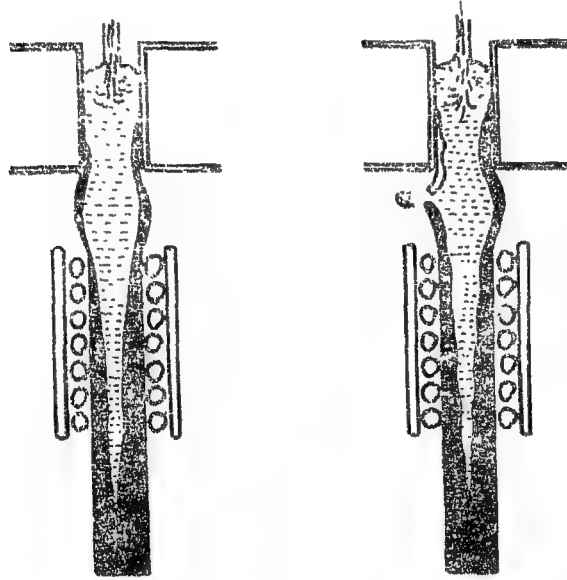
وعند اختيار النوع المناسب من هذه البوادر لاستخدامها فى الصب المستمر تتماثل أمامنا عدة عوامل فى غاية التعقيد ولكن عند استعراض جميع الاعتبارات فاننا نجد أن البودقة ذات الحافة ( الشفة ) تنفرد بعدة مميزات خاصة كما أنه من ناحية أخرى فان عيوبها لا تمثل خطورة بالغة .



شكل (٧٠)

### تجمد الصلب المنصهر :

ينضج أن ييار الصلب المنصهر يبدأ فى التجمد فى الغالب الحاسى حيث نستخدم المياه فى تبريده مكونا غلافا صلبا ( ذا لون داكن ) وتهبط الكتلة المكونة الى أسفل وتضغط عليها مجموعة من الدرافيل حيث ترس برذاذ من المياه يسقط عليها خلال فتحات خاصة فبدأ قلب الصلب المنصهر داخل الغلاف فى التفلس حيب يتجمد ثم لا يلبس هذا القلب انصهر أن يتسع ثانية عندما تجماز الكله منطقة التبريد ونبدأ فى استعادة حرارتها ولكن بالرغم من هذا فلا يحق لنا ان نلقى اليه بالا اذ تصبح لدينا فشرة من الصلب المتجمد قد تكونت وهى كافية لتحمل الضغط الواقع عليها من درافيل السحب التى تلى منطقة التبريد .

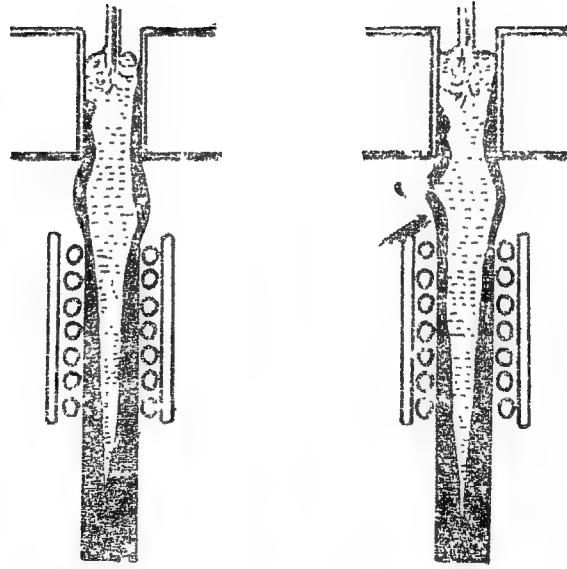


شكل ( ٧١ - ١ ) : يوضح الشكل على اليسار المراحل الأولى فى عملية الصب المستمر عندما تتعدى سرعة السحب قيمتها الحرجة ، وعندما تكون الفشرة المتجمدة رقيقة فانما تتعرض للانفجار أسفل الغالب كما هو موضح بالشكل على اليمين

ويتوقف مقدار الصلب المنصهر فى قلب القطاع على معدل تبريد الغلاف المتجمد الذى يتوقف بدوره على معدل هبوط الكتلة الى أسفل والشكل الهندسى للغالب والخصائص المميزة للصلب الذى يتعرض لعملية التبريد أثناء الانزلاق فى منطقة التبريد .

وهناك نقطة حرجة لمعدل هبوط الكتلة عند أى مساحة مقطع ولما كانت كفاءة أجهزة الصب المستمر تزداد بزيادة سرعة السحب فانه أصبح من





شكل (٧١ - ب) : يوضح الشكل الذى على اليسار المراحل الأولى من عمليه انضمام عندما تكون العشرة المتجمدة رقيقة لذلك تتعرض للانفجار فور هبوطها لأسفل كما فى الشكل على اليمين

المرغوب فيه أن تكون قيمة هذه النقطة الحرجة لمعدل الهبوط كبيره بفدر المسنطاع و بزيادة هذا المعدل نتكون لدينا هوة فى الصلب المتجمد وقد تكون عميقة عمقا كبيرا وتشكل خطورة بالغة لدرجة يصبح معها انفجار الغلاف المتجمد أمرا مترفيا وذلك نتيجة لاجهادات الشد التى يتعرض لها أو للاجهادات الهيدروستاتيكية التى تفاجئ الكتلة فور خروجها من القالب وأكثر من هذا فان معدل هبوط الكتلة يتحدد أيضا بقابلية التصاق غلافها المتجمد بالقالب وعادة ينشأ الالتصاق تحت المستوى الذى يبدأ فيه الغلاف فى التكوين مباشرة مما قد يؤدي الى تكوين قشرة رقيقة فى هذا المكان ومن ثم يتعرض للانفجار ، ويمكن تلاقى ذلك الخطر المستطير بطرق نسنى كاجراء عملية تزليق وغيرها من الطرق الأخرى .

ومما هو جدير بالذكر أنه قد أمكن لدينا التغلب على مشكلة الارتفاع الكبير الذى نتطلبه وحدة الصب المستمر ونم اختزال هذا الارتفاع عن طريق حيود مسار قطاع الصلب المستمر عن الاتجاه الرأسى الى الاتجاه الأفقى بواسطة درافيل سحب قوية تشغل هيدروليكيًا ثم يسند على قطاع الصلب بعد ذلك بالاستعانة بمجموعة أخرى من الدرافيل .

## الاعتبارات الميتالورجية فى طريقة الصب المستمر للصلب المنصهر

طالما قامت طريقة الصب المستمر على أسس عملية سليمة أدى ذلك الى انجاح كتل من الصلب تتمتع بجوده عالية وسطح سليم .

ومع ذلك فيجب علينا أن نتذكر أن الانتاج أساسا هو عمليه سباكة تتطلب تشغيلًا على الساخن بواسطة الدرفلة والطرق وغيرها من طرق التشكيل الأخرى .

وبالنسبة للكتلة نفسها فإن النكوين الفلزى للصلب الناتج بطريقة الصب المستمر يتكون من طبقة مبردة رقيقة تليها بللورات عمودية قد نمب على السطح الداخلى للطبقة المبردة ثم بعد ذلك تأتى المنطقة المركزية الداخلية وهى تحتوى على بللورات غير منتظمة الترتيب ومنساوية العدد فى جميع الاتجاهات .

وبأخذ مقطع مربع نجد أن مستويات الضعف تكون قطريه ونبدىء من الأركان الى الأركان مارة بالبللورات غير المنتظمة الترتيب .

وفى حالة الألواح الفولاذية ذات المفاطع الرقيقة تتقابل البللورات العمودية على المحور الأكبر للمقطع حيث تميل مستويات الضعف بزاوية ٤٥ درجة على الأركان .

وفى الصلب الذى يحتوى على نسبة منخفضة من الكربون تتوغل البللورات العمودية الى حوالى نصف أو ثلاثة أرباع المسافة الى المركز تبعًا لسمك المقطع بينما فى حالة الصلب الكربونى لا يتقدم نمو هذه البللورات العمودية الا لمسافة قصيرة لهذا تزداد مساحة المنطقة التى تحتوى على البللورات غير المنتظمة الترتيب .

وبزيادة نسبة الكربون فإن سمك الترتيب البنىانى لكل من البللورات العمودية ، والبللورات غير منتظمة الترتيب يصبح رقيقا .

وفى هذا المجال يمكن القول بأنه يوجد نقطتا تباين فى التركيب البنىانى للكتل الناتجة بطريقتى الصب المستمر والمعنادة :

١ - تمتاز طريقة الصب المستمر بمائل التركيب البنىانى على طول القطاع المنتج من أوله الى آخره .

٢ - خلو القطاع المنتج بطريقة الصب المستمر من ظاهرة الانعزالية المستعرضة ولقد كانت المقارنة السابقة بالنسبة للصلب المخمد ، أما الصلب الفوار فيتكون هو الآخر من بللورات عمودية وأخرى غير منتظمة الترتيب ولكن البنبان الماكروسكوبى على كل مساحة المقطع لهذا الصلب

يكون مضطربا وغير مننظم نبيجه المتفاعلات الى نحدد داخل الصلب  
فتتكون منطقة تحتوى على فقاعات غازية أثناء الفوران ومع ذلك يمتاز كل  
من الصلب الفوار والصلب المتجمد الناتج من عملية الصب المستمر  
بسلامة سطحه عموما .

وقصارى القول فان الصلب الناتج بطريقة الصب المستمر يمتاز  
بجودة عالية كما أن الخواص الطبيعية والميكانيكية لنوابجه المدلفنه تكون  
جيدة ومرضية ولا يختلف عن ميلاتها الى نحصل عليها من المنجات عالية  
الجودة والى تم صبها بالطريقة المعادة .

### مقارنة بين طريقة الصب المستمر والطريقة المعتادة :

لقد سبق ذكر بعض المقارنات من الناحية الميثالورجية فى البند  
السابق ومن الطبيعى أن تكون المميزات الاقتصادية انعكاسا صادقا ودقيقا  
لمميزات العملية لطريقة الصب المستمر وعموما تنحصر المميزات الاقتصادية  
فى زمن الاعداد الكلى وللطاقة البشرية المستغلة ( القوى العاملة ) وفى  
اجراءات الصيانة فيما يلى :

١ - نلافى سغل العديد من فوالب الصب ونجريدتها بعد تجمد كتل  
الصلب بداخلها أى عسدم الحاجة الى أوناش لتجريد الكتل من  
قوالب الصلب .

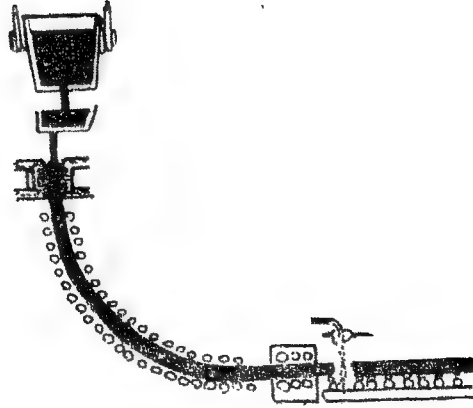
٢ - عدم الحاجة الى الافران الغاطسه .

٣ - الاستغناء عن ماكينات الدرفلة الابتدائية .

٤ - ارتفاع الكفاءة الانباجية للكتل النابجة ( النوارات والالواح )  
اذ يتكون لدينا فجوة أنبوبية واحدة فتقل كمية المستبعد من الصلب  
النابج نتيجة لتكوين الفجوات الأنبوبية عند تجمد الصلب المنصهر  
والتي تحدث عند استخدام الطرق المعتادة للصب .

### طريقة الصب المستمر

مما لا شك فيه أنه نتيجة للمميزات المنعددة التى تقدمها لنا طريقة  
الصب المستمر فان عدد وحدات الصب المستمر التى تنشأ بمصانع الصلب  
يزداد باطراد خاصة فى السنوات الأخيرة وتتركز معظم هذه الوحدات  
فى مصانع الصلب بأوربا وقد لحقت بها الولايات المتحدة أخيرا وفى أكتوبر  
سنة ١٩٦٣ كان العدد الكلى للوحدات العاملة التى تتبع طريقة الصب



شكل (٧٢) تقوم مجموعة من الدلفينات بتغيير مسار قطاع الصلب المنج من الاتجاه الراسى الى الاتجاه الأفقى - وأثناء ذلك يتعرض القطاع للتبريد بواسطة الهواء بدلا من التبريد برشاشات المياه وبهذه الطريقة يمكن اختزال ارتفاع وحدة الصب المستمر

المستمرة ٥٩ ، ويستحوذ الاتحاد السوفيتى ، والمملكة المتحدة على حوالى ٤٠٪ منها وجارى الآن فى معظم مصانع الصلب النى فى شتى أنحاء العالم تشييد وحدات للصب المستمر .

ومن هذه الحقائق يمكننا التنبؤ بمستقبل مشرق لهذه الطريقة الصناعية الحديثة لصب الصلب .

وحاليا يجرى تعديل هذه الطريقة بحيث يتم تشغيلها أوتوماتيكيا حتى يمكن مباشرة كل من البوتقة وقالب الصب من حجرة المرافبة بواسطة العدد اللازم فعلا من الايدي العاملة .

وعلى وجه العموم فان طريقة الصب المستمر تلقى نجاحا مطردا على مر الأيام .

فہرست

٥ . . . . . تنفيذ

٧ **الفصل الأول :** المبادئ الأساسية لصناعة الصلب في المحولات

٨ ١ - القواعد العامة لصناعة الصلب في المحولات

١٠ ٢ - نبذة . . . . .

١٢ ٣ - مبادئ الكيمياء الصناعية في صناعة الصلب

١٦ ٤ - المبادئ الأساسية لتحويل الزهر . . . . .

٢٣ **الفصل الثاني :** الحرارية المستخدمة في المحولات

٣١ **الفصل الثالث :** الحلاط . . . . .

٣٥ **الفصل الرابع :** انتاج الصلب من محول بسمر . . . . .

٣٦ ١ - تصميم محول بسمر . . . . .

٤٤ ٢ - المواد الأولية لشحنة بسمر . . . . .

٥٠ ٣ - فترات النفخ المختلفة والتفاعلات التي تحدث في محول بسمر . . . . .

٥٣ ٤ - تفسير التركيب الكيميائي لكل من الصلب والخبث أثناء عملية النفخ . . . . .

٦٠ ٥ - الطريقة الحديثة لصناعة الصلب . . . . .

٦٦ ٦ - ازالة الفوسفور من الصلب . . . . .

٦٦ ٧ - نزع الأكسجين من الصلب « كربنة الصلب » . . . . .

٧٠ ٨ - الموازنة المادية والحرارية لشحنة بسمر . . . . .

**الفصل الخامس :** انتاج الصلب من محولات توماس ( طريقة بسمر القاعدية )

٨١ ١ - القواعد الأساسية لانتاج صلب توماس . . . . .

٨٢ ٢ - تصميم وتشغيل محولات توماس . . . . .

- ٤ - المواد الأولية اللازمة لصناعة صلب توماس . . . ٨٩
- ٥ - فترات النفخ المختلفة والتفاعلات التي تحدث في محول توماس . . . . . ٩٢
- ٥ - ازالة الكبريت من محول توماس . . . . . ٩٦
- ٦ - خبث توماس . . . . . ٩٧
- ٧ - الانحرافات في تشغيل محولات توماس وطرق علاجها . . . . . ٩٩
- ٨ - الطريقة الحديثة لانتاج الصلب النوماسي . . . ١٠١
- ٩ - استعمال الأكسجين في محولات توماس . . . ١٠٧
- ١٠ - خواص واسنعمالات صلب توماس . . . . ١١٦
- ١١ - الموازنة المادية والحرارية لشحنة توماس . . . ١١٧
- الفصل السادس : الطريقة العلوية للنفخ في المحولات . . . ١٣١**
- ١ - المبادئ الأساسية لطريقة النفخ العلوية . . . ١٣٢
- ٢ - تصميم المحول ذي النفخ العلوى . . . . . ١٣٤
- ٣ - جهاز تمويل الأكسجين . . . . . ١٤٢
- ٤ - نصريف الشحنة . . . . . ١٤٧
- ٥ - أجهزة تنقية غازات المحولات . . . . . ١٤٩
- ٦ - المواد الأولية . . . . . ١٥٦
- ٧ - مراحل النفخ . . . . . ١٦٤
- ٨ - الطرق المختلفة للنفخ بالأكسجين من أعلا . . . ١٨٤
- ٩ - صناعة أنواع الصلب المختلفة وجودة الصلب . . . ٢٠٢
- ١٠ - صناعة الصلب الذي يحوى على نسبة عالية من الكربون . . . . . ٢٠٧
- ١١ - صناعة الصلب ذو العناصر السبائكية المنخفضة والمستخدم في نسليج المباني . . . . . ٢٠٩

## صفحة

١٢ - الموازنة المادية والحرارية في طريقة النفخ العلوية بالأكسجين . . . . .	٢١٧
١٣ - تخطيط مصنع الصلب والمعدات اللازمة لصناعة الصلب . . . . .	٢٣٢
<b>الفصل السابع : صناعة الصلب في المحولات الدوارة والأفران الأنبوبية الدوارة . . . . .</b>	
١ - نفخ الحديد الزهر في محول دوار . . . . .	٢٤٤
٢ - صناعة الصلب في الأفران الأنبوبية الدوارة . . . . .	٢٤٩
٣ - الموازنة المادية والحرارية في صناعة الصلب بطريقة الفرن الدوار . . . . .	٢٥٣
<b>الفصل الثامن : طريقة الصب المستمر لانتاج الصلب . . . . .</b>	
	٢٥٨





مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

رقم الايداع بدار الكتب ١٩٨٧/٢٣٦١

---

٤ - ١٢٨٤ - ٠١ - ٩٧٧ - ISBN



الهيئة العامة لكتبة الإسكندرية



عرض تفصيلى للطرق المختلفة لإنتاج الصلب باستخدام النفخ  
ويتضمن شرحاً للنواحي التكنولوجية المميزة لكل طريقة وحسابات  
الموازانات المادية والحرارية لها . مع شرح لمميزاتها وعيوبها وأنواع  
الصلب المنتجة فى كل طريقة . ويختتم الكتاب بعرض موجز لطريقة  
الصب المستمر وهى أحدث طرق صب المعادن عموماً والصلب على  
وجه الخصوص .

مهندس : سعيد عبد الغفار